

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Daniel Vieira da Costa

Projeto de Dispositivos de Produção e
Montagem para a Indústria Automóvel e dos
Plásticos

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Machado

Outubro de 2012

DEDICATÓRIA

Ao meu avô Manuel. Por todas as vezes que me deste a mão, pelo carinho, educação, amor e conhecimento. Devo-te muito.

Que Deus te tenha.

AGRADECIMENTOS

Seria necessária quase toda esta página para enumerar aqueles a quem quero agradecer por hoje ter chegado até aqui. Contudo, há aqueles que me marcaram mais e por isso, é a esses a quem me dirijo agora:

Agradeço aos meus pais pelo esforço, carinho e amor que me dedicaram, aos meus avós Manuel e Luísa, que foram muito importantes para mim, e aos meus familiares mais chegados. Merece também um agradecimento muito, muito, especial a minha namorada, de há muitos anos, a Diana, a quem amo muito.

Quero também agradecer aos meus amigos: Rafaela, Carlos e Sónia, Ricardo e Isabel, Vitinho, Meira, Rúben, Dinis, Zé Fernando, Lopes, Rafael, Emanuel, Joni, Rui Mendes, Desterro, Marino, CR Areias, Luís Novais, Sofia, Moreira, Marta e Catarina, pela vossa amizade e, fundamentalmente, por terem paciência para me aturar.

Um agradecimento especial para os colegas e amigos da ITEC, em particular ao Paulo Compadrinho, Leonardo Pannuzzo e Tiago Barbosa.

Agradeço também aos meus professores: Professor Doutor Caetano Monteiro e Professor Doutor Joaquim Barbosa e ao meu orientador Professor Doutor José Machado.

Obrigado a todos!

RESUMO

Esta dissertação resulta do trabalho desenvolvido no âmbito de um estágio curricular, realizado entre o autor, aluno do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, e a empresa ITEC – *Iberiana Technical*, sita em Frossos, Braga.

Esta dissertação tem o título “*Projeto de Dispositivos de Produção e Montagem para a Indústria Automóvel e dos Plásticos*” e trata o desenvolvimento de um equipamento automatizado para produção de um produto destinado à indústria automóvel.

O presente trabalho divide-se em duas partes, a primeira parte apresenta o conceito de projeto no seu entender mais abrangente e, gradualmente, apresentam-se os aspetos de projeto relativos à engenharia mecânica; a segunda parte apresenta o processo de desenvolvimento do equipamento. A primeira parte divide-se em 5 capítulos. Começa-se por apresentar o conceito genérico de projeto, onde se entende o projeto como dinamismo comum a qualquer tipo de trabalho, atividade ou indústria, e aborda-se o projeto de âmbito da engenharia onde é apresentada a metodologia de projeto de Asimov, o processo de gestão das fases do projeto e discute-se a influência da Engenharia Simultânea. Noutro capítulo trata-se do processo de definição das diretrizes do projeto, desde a fase de recolha de informação junto do cliente ou utilizadores até à elaboração das especificações de projeto. Seguidamente, trata-se de um tipo particular de projeto, o Projeto para Manufatura e Montagem, que se preocupa com os aspetos de projeto que tornam o produto exequível pelas técnicas de fabrico e montagem existentes. Por último, trata-se de apresentar um capítulo dedicado à segurança em máquinas industriais onde se faz referência à Diretiva Máquina 2006/42/CE, à legislação nacional sobre este tema e, em destaque os dispositivos de proteção optoeletrónicos.

A segunda parte apresenta a aplicação de um caso prático tendo em conta os assuntos tratados na primeira parte. Começa por apresentar a empresa onde foi realizado o estágio dando-se a conhecer o seu enquadramento no mercado e mostrando-se de que forma se fez a implementação do Processo de Projeto Mecânico. Após isso, um novo capítulo trata da apresentação do projeto desenvolvido e por fim é apresentado o processo de projeto mecânico desse equipamento, fazendo-se referência a todos os componentes que o constituem e referenciando-se também os problemas de projeto verificados e os pontos de melhoria possíveis.

A dissertação termina com uma reflexão sobre o trabalho realizado.

ABSTRACT

This master thesis results from the work developed under a traineeship, held between the author, MSc student of Mechanical Engineering at University of Minho, and the company ITEC – Iberiana Technical, located in Frossos, Braga.

This thesis is titled "Project of Production and Assembly Devices for the Automotive and Plastics Industries" and treats the development of an automated equipment for the manufacture of a product for the automotive industry.

This work is divided into two parts, the first one introduces the concept of design in its broadest understanding, and gradually presents the design aspects related to mechanical engineering; the second part presents the process of development of the equipment.

The first part is divided into five chapters. It begins by introducing the generic concept of project, where the project is seen as a dynamism common to any type of work activity or industry, is presented the Asimov's project methodology, the management process of the project phases and is discussed the influence of Concurrent Engineering. In another chapter is the process of defining design guidelines, from the stage of gathering information from the customer, or user, to the preparation of the project specifications. Thereafter, it is presented a particular type of project, the Design for Manufacturing and Assembly, which is concerned with the design aspects that make the product manufacturable for the existing assembly and manufacturing techniques. Lastly there is a chapter dedicated to security in industrial machinery, where reference is made to the Machine Directive 2006/42/CE, the national legislation (Portuguese legislation) about that subject and, highlighted, the optoelectronic protective devices.

The second part presents the application of a practical case taking into account the subjects discussed in the first part. It begins by presenting the company which had undertaken the traineeship giving to know its position on the market, and showing how it was implemented the Mechanical Design Process. After that, a new chapter presents the developed equipment, and finally is presented its mechanical design process, making reference to all of the components that constitute it, and also the design problems found and the possible improvements.

The work concludes with a reflection.

ÍNDICE GERAL

Dedicatória.....	ii
Agradecimentos.....	iv
Resumo	vi
Abstract.....	viii
Índice Geral	x
Índice de Figuras	xiv
Índice de Tabelas	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento ao trabalho.....	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Estrutura do documento.....	2
Parte I – Estado da arte: O Projeto	3
2. Conceito de projeto	5
2.1. Definição de projeto	6
2.2. Custos do Projeto.....	7
2.2.1. Break Even Point	9
2.3. Projeto de engenharia	10
2.3.1. Abordagem ao projeto de engenharia.....	10
2.3.2. Metodologia de projeto do Produto de Asimov	12
2.4. Gestão da Informação do Projeto.....	13
2.5. Gestão do projeto	14
2.6. Influência da Engenharia Simultânea no Projeto.....	15
3. Definição das especificações de Projeto.....	19
3.1. Das necessidades dos clientes às especificações de projeto.....	20
3.2. Identificação das Necessidades do Cliente	21
3.3. Identificação dos Requisitos do Cliente	21
3.3.1. Aplicação do Diagrama de Kano	22
3.4. Definição dos Requisitos de Projeto	24
3.5. Definição das Especificações de Projeto.....	25
4. Projeto para a Manufatura e Montagem.....	27
4.1. Projeto para a Manufatura VS Projeto para a Montagem.....	28
4.2. Projeto para a Manufatura	28

4.2.1.	Influência dos processos de fabrico na manufaturabilidade	29
4.3.	Projeto para a Montagem	33
4.3.1.	Projeto para a montagem manual.....	34
4.3.1.1.	Sistemas à prova de erro Poka-Yoke	37
4.3.2.	Sistemas de montagem manual	37
4.3.2.1.	Montagem em Bancadas.....	38
4.3.2.2.	Montagem em estações consecutivas com sistema de transporte	38
4.3.2.3.	Montagem em centros modulares.....	38
4.3.2.4.	Montagem em centros personalizados.....	39
4.3.2.5.	Montagem em centros flexíveis.....	39
4.3.2.6.	Montagem em multi-estações com sistemas de transporte para grandes volumes	40
4.4.	Normalização.....	41
5.	Segurança em Máquinas Industriais	43
5.1.	Enquadramento ao tema.....	44
5.2.	Diretiva Máquinas 2006/42/CE	45
5.2.1.	Quasi-Máquinas.....	46
5.3.	Normas Europeias para a Segurança de Máquinas.....	47
5.4.	Métodos de Avaliação e Redução de Risco	48
5.5.	Medidas de Redução de Risco.....	49
5.5.1.	Exemplos da aplicação de dispositivos de proteção	50
5.5.1.1.	Impedir o acesso permanente.....	50
5.5.1.2.	Impedir o acesso temporariamente.....	50
5.5.1.3.	Bloquear peças, substâncias ou radiações.....	51
5.5.1.4.	Provocar a paragem e impedir a colocação em movimento.....	51
5.5.1.5.	Distinguir entre pessoas e objetos	52
5.5.1.6.	Controlar os parâmetros da máquina	53
5.5.2.	Paragem de Emergência e outros comandos.....	53
5.6.	Dispositivos de proteção optoelectrónicos.....	55
	Proteção de zonas de perigo pela deteção de dedos ou mãos.....	55
	Proteção contra acesso a uma zona de perigo.....	56
	Distinguir a aproximação de pessoas ou objectos à zona de perigo.....	56
5.6.1.	Seleção e Implementação	56
5.6.1.1.	Cálculo da distância de segurança.....	57

5.6.2.	Cálculo da altura do campo de proteção	58
5.6.3.	Determinação da resolução do dispositivo.....	59
Parte II – Aplicação de um caso prático		61
6.	Implementação do Projeto Mecânico	63
6.1.	Enquadramento do Projeto Mecânico na ITEC.....	63
6.1.1.	Processo de projeto da empresa	63
6.2.	Implementação do Processo de Projeto Mecânico	64
6.2.1.	Realização do “desenho mecânico”	65
6.2.2.	Documentação referente ao Projeto Mecânico	66
6.2.2.1.	Nomenclatura de ficheiros	67
6.2.3.	Desenhos técnicos	67
6.2.3.1.	Modelo de Legenda dos desenhos técnicos	67
6.2.3.2.	Lista de peças e histórico de revisões.....	70
7.	Apresentação do problema	71
7.1.	Descrição geral do problema	71
7.2.	Proposta preliminar de solução	72
7.3.	Adjudicação do projeto e definição de especificações	73
7.3.1.	Definição das especificações do projeto.....	73
8.	Projeto mecânico do equipamento	77
8.1.	Apresentação do equipamento projetado.....	77
8.1.1.	Identificação de componentes.....	78
8.2.	Estrutura tipo Cabine em Perfil de Alumínio	79
8.3.	Robô cartesiano	83
8.3.1.	Eixos IK da IAI	83
8.3.2.	Simulação do tempo de posicionamento	85
8.4.	Sistema de posicionamento dos parafusos	88
8.4.1.	Projeto do <i>Nozzle</i>	90
8.5.	Base de receção dos parafusos.....	93
8.5.1.	Casquilhos da base.....	94
8.5.2.	Sensores para deteção do parafuso.....	95
8.5.3.	Sistema de transporte da base	97
8.6.	Alimentador de parafusos.....	98
8.7.	Interface Homem-Máquina	100
8.8.	Dispositivos de Proteção e Segurança	101

8.9. Resultado final.....	103
8.10. Problemas de projeto e pontos de melhoria.....	104
9. Reflexão Crítica – Conclusão	107
Referências Bibliográficas.....	109
Anexos	111
Anexo A – Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio de 2006	A
Anexo B – Decreto -Lei n.º 320/2001 de 12 de Dezembro	C
Anexo C – Modelo de legenda para desenho técnico adotado na ITEC.....	E

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos custos com o ciclo de vida do produto [adaptado de [4]]	9
Figura 2 - Representação gráfica do BEP	10
Figura 3 - A interpretação do problema segundo diferentes pontos de vista [adaptado de [3]]	11
Figura 4 - Metodologia do projeto do produto, segundo Asimov	12
Figura 5 - Modelo de gestão da informação [adaptado de [5]]	13
Figura 6 - Modelo do processo de Gestão de Projetos [Adaptado de [5]]	14
Figura 7 - Tempo de execução do projeto: Engenharia Simultânea VS Engenharia Sequencial [adaptado de [4]]	16
Figura 8 - Processo de transformação da informação [imagem de autoria do próprio]	20
Figura 9 - Diagrama de Kano [http://www.shmula.com]	23
Figura 10 - Hipérbole sobre os problemas do processo de design com vista à manufatura [6]	28
Figura 11 - Tamanho económico do lote em função do processo de fabrico [adaptado de [3]]	31
Figura 12 - Espessura mínima obtida em função do processo de fabrico [adaptado de [3]]	31
Figura 13 - Rugosidade superficial e tolerância dimensional geralmente obtidas por diferentes processos de fabrico [adaptado de [3]]	32
Figura 14 - Influência das tolerâncias dimensionais nos custos de fabrico [adaptado de [3]]	32
Figura 15 - Componente assimétrico, simétrico, ligeiramente assimétrico e claramente assimétrico [adaptado de [7]]	35
Figura 16 - Componentes propícios a encravamento e acoplamento involuntário e geometrias alternativas [adaptado de [7]]	35
Figura 17 - Componentes propícios a encravamento e geometrias alternativas [adaptado de [7]]	35
Figura 18 - Montagem em pirâmide [adaptado de [7]]	36
Figura 19 - Componentes difíceis de inserir e geometrias alternativas [adaptado de [7]]	36
Figura 20 - Componente difícil de posicionar e geometria alternativa do conjunto [adaptado de [7]]	36
Figura 21 - Conjunto de difícil montagem e alternativa [adaptado de [7]]	37
Figura 22 - Montagem em bancadas [adaptado de [7]]	38
Figura 23 - Figura 28 – Montagem em estações consecutivas com conveyor [adaptado de [7]]	38
Figura 24 - Montagem em centros modulares [adaptado de [7]]	39
Figura 25 - Montagem em centros personalizados [adaptado de [7]]	39
Figura 26 - Montagem em centros flexíveis [adaptado de [7]]	40
Figura 27 - Montagem em multi-estações com sistema de transporte para grandes volumes [adaptado de [7]]	40
Figura 28 - Diretivas para a Segurança de Máquinas na EU [adaptado de [10]]	45
Figura 29 - Tipo de norma aplicável em função do dispositivo de segurança [adaptado de [10]]	48
Figura 30 - Processo de Avaliação do Risco (conforme EN ISO 14121)	49
Figura 31 - Processo de Redução de Risco [adaptado de [10]]	49
Figura 32 - Dispositivos de proteção separadores [10]	50
Figura 33 - Exemplo de dispositivo de impedimento de acesso temporário [10]	51
Figura 34 - Exemplo de utilização de uma rede para detenção de robô [10]	51
Figura 35 - Exemplo de um sistema de proteção por feixes de luz e reativação da Emergência [10]	52
Figura 36 - Exemplo de um sistema de proteção com scanner [10]	52
Figura 37 - Exemplo da aplicação de um sensor de posição [10]	53
Figura 38 – Significado das cores dos comandos [adaptado de [10]]	54
Figura 39 - Significado das cores das luzes [adaptado de [10]]	54
Figura 40 - Utilização de barreiras para a deteção de dedos ou mãos [10]	55
Figura 41 - Utilização de barreiras ou cortinas para a deteção de pessoas/ objetos [10]	56
Figura 42- Utilização de scanner para a distinção entre pessoas e objetos [10]	56

<i>Figura 43 - Procedimento de seleção da localização e tamanho do dispositivo de proteção [adaptado de [10]]</i>	57
<i>Figura 44 - Formas de aproximação às zonas de perigo [10]</i>	57
<i>Figura 45 - Acesso à zona de perigo em função da altura do dispositivo de segurança [10]</i>	58
<i>Figura 46 - Processo de Projecto implementado na empresa ITEC [Proveniente do Manual da Qualidade da ITEC]</i>	63
<i>Figura 47 - Modelo de pasta do projeto mecânico</i>	66
<i>Figura 48 - Modelo de legenda dos desenhos técnicos com Lista de Peças e Histórico de Revisões</i>	68
<i>Figura 49 - Modelo de legenda para desenho técnico</i>	68
<i>Figura 50 - Parte da legenda referente à identificação do desenho</i>	68
<i>Figura 51 - Parte da legenda referente às características do componente</i>	69
<i>Figura 52 - Parte da legenda referente ao desenho</i>	69
<i>Figura 53 - Parte da legenda referente à identificação do autor e validação</i>	69
<i>Figura 54 – Modelo de lista de peças</i>	70
<i>Figura 55 - Modelo de histórico de revisões</i>	70
<i>Figura 56 – Fotografia do produto final</i>	71
<i>Figura 57 - Proposta preliminar da solução</i>	72
<i>Figura 58 - Posições de inserção dos parafusos</i>	75
<i>Figura 59 - Render da Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista]</i>	77
<i>Figura 60 - Dimensões da Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista]</i>	78
<i>Figura 61 - Identificação dos componentes que constituem a Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista]</i>	78
<i>Figura 62 - Perfil 45x45L da Bosch Rexroth [imagem adaptada de [12]]</i>	79
<i>Figura 63 - Estrutura tipo cabine para a Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista]</i>	80
<i>Figura 64 - Acessório End Connector [imagem adaptada de [12]]</i>	81
<i>Figura 65 - Acessório Bracket 45x45 [imagem adaptada de [12]]</i>	81
<i>Figura 66 - Acessório Variofix [imagem adaptada de [12]]</i>	82
<i>Figura 67 - Acessório T-nut M6 [imagem adaptada de [12]]</i>	82
<i>Figura 68 - Lifting Wheels [imagem adaptada de [12]]</i>	82
<i>Figura 69 - Eixo do tipo IK da IAI [imagem proveniente do catalogo do fabricante [13]]</i>	83
<i>Figura 70 - Combinações dos eixos IK possíveis, em função da posição área de trabalho [imagem adaptada de [13]]</i>	84
<i>Figura 71 - Posição dos eixos relativamente às posições de trabalho [imagem de autoria do próprio]</i>	85
<i>Figura 72 - Padrões de movimentação do eixo IAI [imagem de autoria do próprio]</i>	85
<i>Figura 73 - Esquematização das coordenadas de posicionamento do eixo IK2 [imagem de autoria do próprio]</i>	86
<i>Figura 74 - Relação Aceleração/Distância [imagem de autoria do próprio]</i>	87
<i>Figura 75 - Percurso para posicionamento dos parafusos [imagem de autoria do próprio]</i>	88
<i>Figura 76 - Dimensões do parafuso [imagem gerada no software de CAD utilizado]</i>	88
<i>Figura 77 - Nozzles convencionais [imagem fotorealista]</i>	89
<i>Figura 78 - Sistema de posicionamento dos parafusos [imagem fotorealista]</i>	90
<i>Figura 79 - Representação em corte do noozle para receção do parafuso [imagem gerada no software de CAD utilizado]</i>	91
<i>Figura 80 - Esquematização do funcionamento de um nozzle com sistema de pinça convencional [imagem fotorealista]</i>	91
<i>Figura 81 - Sistema de pinça pneumáticas [imagem fotorealista]</i>	92
<i>Figura 82 - Detalhe das pinças com o parafuso em posição para ser largado [imagem fotorealista]</i>	93
<i>Figura 83 - Base de receção dos parafusos e respetivo sistema de transporte [imagem fotorealista]</i>	93

<i>Figura 84 - Representação em corte do casquilho [imagem gerada no software de CAD utilizado]</i>	94
<i>Figura 85 - Sensores do tipo indutivo [14]</i>	95
<i>Figura 86 - Sensores do tipo capacitivo [14]</i>	95
<i>Figura 87 - Sensor do tipo magnético [14]</i>	96
<i>Figura 88 - Sensor do tipo fotoelétrico [14]</i>	96
<i>Figura 89 - Sensor do tipo indutivo para deteção dos parafusos na base [foto da fase de construção]</i>	97
<i>Figura 90 - Eixo IAI RCP3 SA6C-I-42-P-12 [15]</i>	98
<i>Figura 91 - Conjunto do alimentador automático de parafusos Böllhoff Uniquick Feeder 340 e detalhe do interior do alimentador [fotos do equipamento]</i>	98
<i>Figura 92 - Detalhe do sensor de controlo da passagem do parafuso [foto do equipamento]</i>	99
<i>Figura 93- Placa de botoneiras e luzes avisadoras [foto da máquina]</i>	100
<i>Figura 94 - Dispositivos de interface Homem-Máquina [foto da máquina]</i>	101
<i>Figura 95 - Equipamento protegido com policarbonato e Dibond [foto da máquina]</i>	102
<i>Figura 96 - Sinais de aviso e detalhe do sensor das portas [fotos da máquina ainda na fase de construção]</i>	103
<i>Figura 97 - Célula de Inserção Automática de Parafusos [fotos da máquina pronta]</i>	103
<i>Figura 98 - Detalhe do Nozzle [fotos da máquina]</i>	104
<i>Figura 99 - Chapa de proteção dos sensores [foto da máquina]</i>	105

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Atributos típicos de produtos industriais [4]</i>	22
<i>Tabela 2 - Formulas de calculo para a distancia de segurança em função da aproximação ao campo de proteção [adaptado de [10]]</i>	58
<i>Tabela 3 - Tabela de seleção da altura do dispositivo de segurança [remete-se para a Figura 45 - Acesso à zona de perigo em função da altura do dispositivo de segurança [10]]</i>	59
<i>Tabela 4 - Resolução do disposto de proteção [adaptado de [10]]</i>	59
<i>Tabela 5 - Características do perfil 45x45L – Bosch Rexroth</i>	79

1. Introdução

1.1. Enquadramento ao trabalho

A presente dissertação de mestrado realiza-se no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, com especialização em Tecnologias de Manufatura, da Universidade do Minho, e apresenta o projeto de um sistema automatizado para manipulação de componentes. Sistema que faz parte de uma linha de produção para fabrico de um componente para a indústria automóvel.

O projeto deste equipamento é desenvolvido em parceria com a empresa ITEC – *Iberiana Technical* sita em Frossos, Braga, por meio da realização de um estágio curricular ao abrigo do Mestrado Integrado com a duração de 10 meses.

A empresa ITEC foi criada em Março de 2006 e desenvolve a sua atividade no ramo do comércio de equipamentos, consumíveis e serviços para a indústria eletrónica e automóvel. Grande parte da sua faturação resulta da realização de máquinas sob medida, isto é, sistemas de produção à medida das necessidades do cliente.

Da sua carteira de clientes destacam-se entidades de relevo, tais como:

BOSCH Car Multimedia, Delphi-Grundig, PREH Portugal, BOSH Security Systems, Plasfil, Visteon, Key Plastics Portugal, JP Sá Couto, BOSH Travões, GEWISS, GE POWER ELECTRIC, GESTAMP, entre outras. A ITEC é uma empresa que tem a qualidade dos seus processos assegurada pelos dispostos da norma ISO 9001 e em 2011 recebeu o título de PME Líder.

1.2. Objetivos

Pretende-se com esta dissertação apresentar um resumo dos conhecimentos necessários para a realização do projeto de um sistema automatizado de produção, tendo em conta requisitos de índole económica, de fabrico e montagem e de normalização em termos de segurança, todos eles no que se remete para a engenharia mecânica. Os objetivos a que o autor se propõe são o desenvolvimento de um equipamento e a implementação do processo de projeto mecânico numa empresa, evitando assim a subcontratação de serviços.

O projeto de equipamentos, nomeadamente o projeto mecânico, pressupõe a compreensão de um vasto leque de conhecimentos imprescindíveis à correta elaboração do projeto. Assim, o projetista, ou a equipa de projeto, deve deter conhecimentos ao nível das solicitações técnicas (de engenharia do equipamento) que lhe são postas, mas também ao nível da gestão dos recursos,

uma vez que deve estar ciente de que todas as suas decisões irão afetar a forma como o projeto se desenvolve.

O sistema a desenvolver trata-se de uma célula de inserção de parafusos, numa base própria, para manipulação posterior por um robô cartesiano (que não será alvo de estudo) que tratará da sua colocação no molde de uma máquina de injeção de plástico, resultando o produto final.

1.3. Estrutura do documento

Considerou-se necessário começar esta dissertação pela apresentação de alguns dos conceitos necessários à correta elaboração de um projeto deste tipo, apresentando-se no final o projeto propriamente dito do equipamento. Por isso a dissertação divide-se em duas partes: “Estado da arte – O Projeto” e “Aplicação de um Caso Prático”.

A primeira parte divide-se pelos capítulos 2 a 5:

O capítulo 2 apresenta a definição de projeto e introduz o conceito particular de Projeto de Engenharia; o capítulo 3 trata da definição das especificações do projeto, isto é, apresenta o processo que geralmente é levado a cabo para que de requisitos de um cliente se definam as diretrizes do projeto; o capítulo 4 apresenta o Projeto para a Manufatura e Montagem que é também um tipo particular de projeto; por fim o capítulo 5 apresenta fundamentos relativos à segurança de máquinas tendo em conta a legislação Europeia e Nacional em vigor.

A segunda parte, referente ao caso prático, divide-se pelos capítulos 6 a 8:

O capítulo 6 apresenta os desenvolvimentos levados a cabo pelo autor com vista à implementação de uma metodologia de projeto mecânico na empresa de estágio; os capítulos 7 e 8 o tratam do trabalho desenvolvido com vista ao projeto do equipamento.

O nono capítulo destina-se a uma conclusão e reflexão sobre o trabalho realizado.

PARTE I – ESTADO DA ARTE: O PROJETO

Nesta primeira parte é apresentado o conceito genérico de projeto e gradualmente, vão-se especificando os conteúdos abordados tendo em conta os aspetos de projeto relativos à engenharia mecânica.

2. Conceito de projeto

Neste capítulo pretende-se definir o que é um projeto. Apresentam-se conceitos relacionados com a forma de abordar o problema, custos e gestão da informação. Um tipo particular de projeto é o Projeto de Engenharia, que aqui também é apresentado. Sobre este tipo em particular, apresenta-se a metodologia de projeto de Asimov, abordando-se ainda um pouco o processo de gestão das fases do projeto e a influência da engenharia simultânea no desenvolvimento do projeto.

2.1. Definição de projeto

Um projeto é uma ação temporária executada com o intuito de se obter um produto ou serviço, como resultado do trabalho realizado. Diz-se que é uma ação temporária porque tem um início e um fim definidos. É também um processo planeado que envolve o desenrolar de várias fases ou etapas que se desenvolvem progressivamente e levadas a cabo por uma equipa. Sucintamente, a ação de projetar pressupõe a resposta às seguintes questões:

- O que fazer?
- Para quem?
- Como?
- E quando e em que tempo?

Cada projeto é único, tendo em conta as inúmeras variáveis que o moldam e é definido tendo em vista o planeamento estratégico da organização em que se insere. São exemplos de projetos o desenvolvimento ou melhoria de um produto (automóvel, informático, mobiliário), a reestruturação de uma organização, a construção de um edifício, uma campanha política, etc.

A criação de um projeto torna-se necessária quando os recursos organizativos não conseguem abordar as atividades a desenvolver dentro dos limites normais de operação da organização. Os projetos geralmente surgem como o resultado de um requisito do mercado inerente, uma necessidade organizacional, uma solicitação de um cliente, um avanço tecnológico, um requisito legal, ou quaisquer outro tipo de pedido semelhante.

A execução de um projeto envolve um trabalho de gestão complexo composto por cinco processos: iniciação, planeamento, execução, monitorização e controlo, e encerramento. Em cada projeto existe um gestor ou equipa de projeto, que asseguram que o projeto atinge os requisitos a que se propôs.

O sucesso do projeto depende de [1]:

- Definição dos objetivos do projeto: a primeira tarefa a ser realizada num projeto é a definição e comunicação às partes interessadas dos objetivos a alcançar;
- Riscos: os riscos devem ser identificados para que a equipa de projeto não seja tomada de surpresa;
- Decisões preliminares: as decisões tomadas em fases iniciais têm grande influência em fases mais avançadas do projeto;

- Planeamento: todas as fases do projeto devem ser planeadas pois caso não o sejam o sucesso do projeto poderá ser comprometido, e se o forem excessivamente rapidamente se tornarão obsoletas e serão ignoradas;
- Tempo e dinheiro: planear quando os trabalhos devem ser executados e os custos inerentes devem ser atividades realizadas em paralelo;
- Comunicação: deve-se assegurar meios de comunicação fiáveis e eficientes, tanto em termos da qualidade da informação que transmitem como da rapidez que o fazem;
- Delegação de autoridade: a autoridade não deverá ser centralizada, e todas as partes interessadas no projeto deverão ser tomadas em conta;
- Adaptação a variações externas ao projeto: o projeto deverá ser organizado e pensado tendo em conta as flutuações do mercado inerente ou os desejos dos clientes, para que alterações ao planeamento inicial possam ser efetuadas sem comprometer as fases futuras do projeto.

O aspeto finito do projeto é abordado pelo conceito de Ciclo de Vida do Projeto. O Ciclo de Vida do Projeto representa as fases pelas quais o projeto se desenvolve. A condição de transição entre cada uma das fases passa por se atingir os objetivos definidos para a fase em questão. Contudo, podem ocorrer situações em que os riscos inerentes ao início de uma fase, sem o fim da anterior, sejam suportáveis e como tal, dar-se início a uma nova fase sem o fim da antecedente. O Ciclo de Vida do Projeto define [2]:

- Que trabalho deve ser realizado em cada fase;
- Quando devem ser geradas as entregas de trabalhos em cada fase, e de que forma cada entrega é revista, verificada e validada;
- Quem está envolvido em cada fase;
- Como controlar e aprovar cada fase:

2.2. Custos do Projeto

O custo de um projeto pode ser definido como o sacrifício monetário que uma organização ou indivíduo tem que arcar com vista a atingir os objetivos do projeto.

Os custos do produto podem ser divididos em duas categorias: Custos Variáveis e Custos Fixos. Os Custos Variáveis são aqueles que variam em função de cada unidade do produto produzida, são exemplos: custos de materiais, mão-de-obra, ferramentas, manutenção de equipamentos, etc.; os

Custos Fixos são aqueles que ocorrem somente durante um determinado período de tempo, independentemente da quantidade de produtos produzida ou vendida, são exemplos: seguros, rendas, impostos, etc. Pode-se ainda incluir uma outra categoria denominada: custos gerais e administrativos, para onde se faz, geralmente, a migração dos custos relacionados com marketing do produto, despesas legais, despesas de documentação, entre outros [3].

É fundamental que se proceda a uma estimativa dos custos inerentes às atividades a desenvolver, pelo carácter de dependência financeira que a atividade de projeto apresenta. Um bom exercício de estimativa de custos deve:

- Prever os trabalhos a realizar;
- Prever o custo desses trabalhos relacionando tempos e recursos;
- Identificar e quantificar potenciais riscos e problemas que influenciem financeiramente o projeto (variações do mercado);
- Indicar todos os pressupostos e exclusões financeiros (como empréstimos, fundos monetários, etc.);
- Prever o *cash flow* do projeto.

Em termos de produto, pode ser realizada uma estimativa de custos com o intuito de:

- Providenciar informação necessária ao estabelecimento do preço de venda do produto;
- Determinar o método, processo ou material mais económico para o fabrico do produto;
- Se estabelecer a base de um programa de redução de custos;
- Determinar padrões de desempenho da produção como base para o controlo de custos;
- Fornecer informações sobre a rentabilidade de um novo produto.

As decisões tomadas nas fases mais precoces do desenvolvimento do projeto do produto comprometem quase na totalidade o custo do produto, quantificando-se em cerca de 70%. É portanto importante ter noção que é preferível despende mais tempo no início do projeto do que seguir precipitadamente, uma vez que as fases iniciais têm um custo de apenas 5% da totalidade do projeto. À medida que o projeto avança o custo das alterações é multiplicado por 10 em relação à fase imediatamente anterior. A figura abaixo mostra os efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto [4].

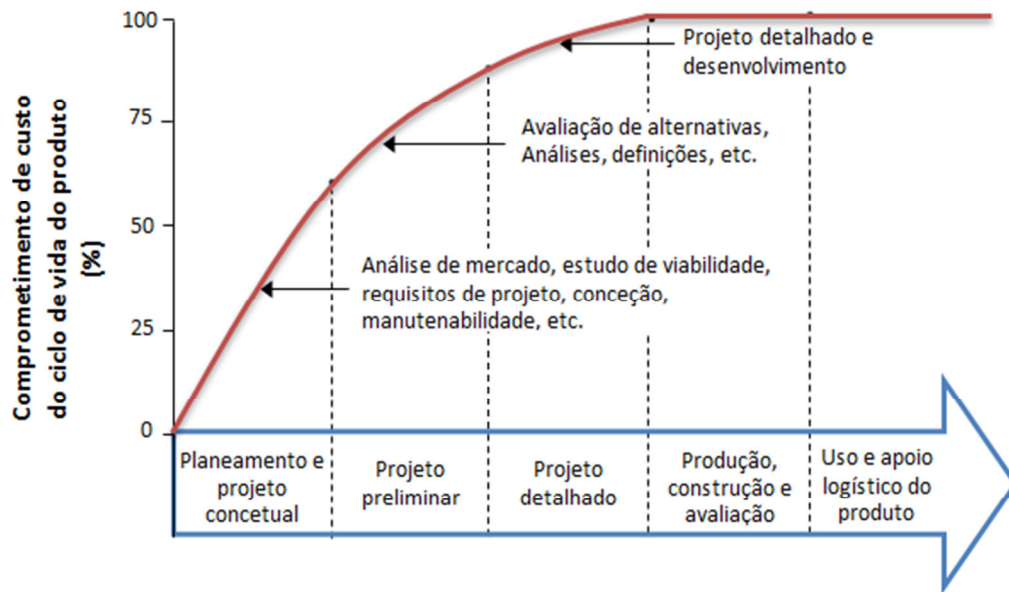


Figura 1 - Evolução dos custos com o ciclo de vida do produto [adaptado de [4]]

2.2.1. Break Even Point

O *Break Even Point* (BEP) ou Ponto de Equilíbrio é um indicador de lucro ou prejuízo que tem por base a relação entre custos fixos e variáveis [3].

O BEP estabelece-se quando o total das receitas é igual ao total das despesas. Assim, trabalhar acima do BEP traduz-se em lucro e trabalhar abaixo do BEP traduz-se em prejuízo. Sendo:

- **P**: preço de venda de cada unidade do produto [€/und]
- **v**: o custo variável associado [€/und]
- **Z**: lucro bruto (antes de impostos e taxas)
- **f**: o custo fixo [€]
- **Q**: número de produtos produzidos ou vendido

O lucro bruto pode ser dado por: $Z = P \times Q - (Q \times v + f)$, desta forma, no ponto de equilíbrio ter-se-á: $Q = Q_{BEP}$ e $Z = 0$

Pelo que: $Q_{BEP}(P - v) = f$

$$\text{Logo, } Q_{BEP} = \frac{f}{P - v}$$

Graficamente, o conceito de BEP ilustra-se como apresentado abaixo:

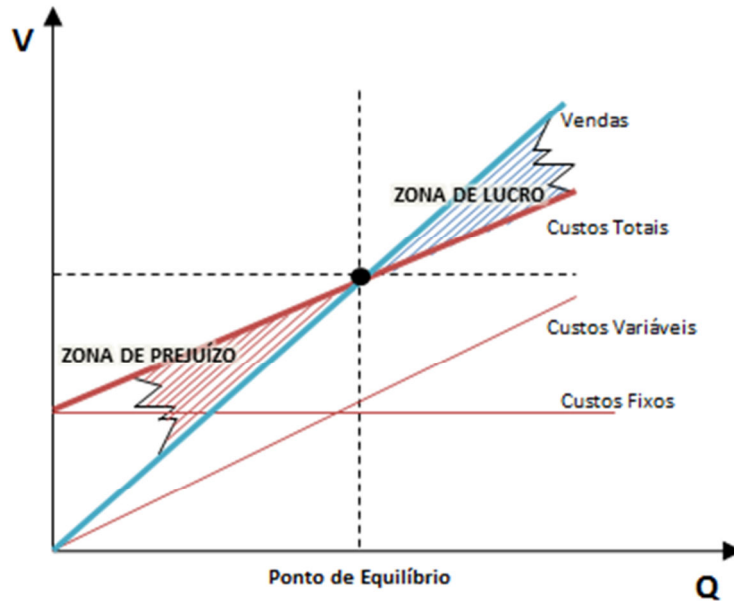


Figura 2 - Representação gráfica do BEP

2.3. Projeto de engenharia

Um tipo particular de projeto é o projeto de engenharia. O projeto de engenharia é definido como o uso de princípios científicos, informações técnicas e imaginação na definição de estruturas, máquinas ou sistemas para desempenhar funções pré-especificadas com a máxima economia e eficiência [4].

2.3.1. Abordagem ao projeto de engenharia

Pode-se estabelecer uma analogia entre a resolução de um problema e a execução de um projeto de engenharia. Tome-se o exemplo da seguinte metodologia:

- 1º Definir o problema.
- 2º Obter informação relativa ao problema.
- 3º Criar soluções alternativas.
- 4º Avaliar as alternativas e tomar decisões.
- 5º Comunicar os resultados.

A definição do problema é o ponto mais crítico do projeto ao passo que aquilo que poderá ser apontado como o problema a resolver pode ser entendido de diferentes formas pelas várias partes envolvidas no projeto. A figura seguinte ilustra essa situação:

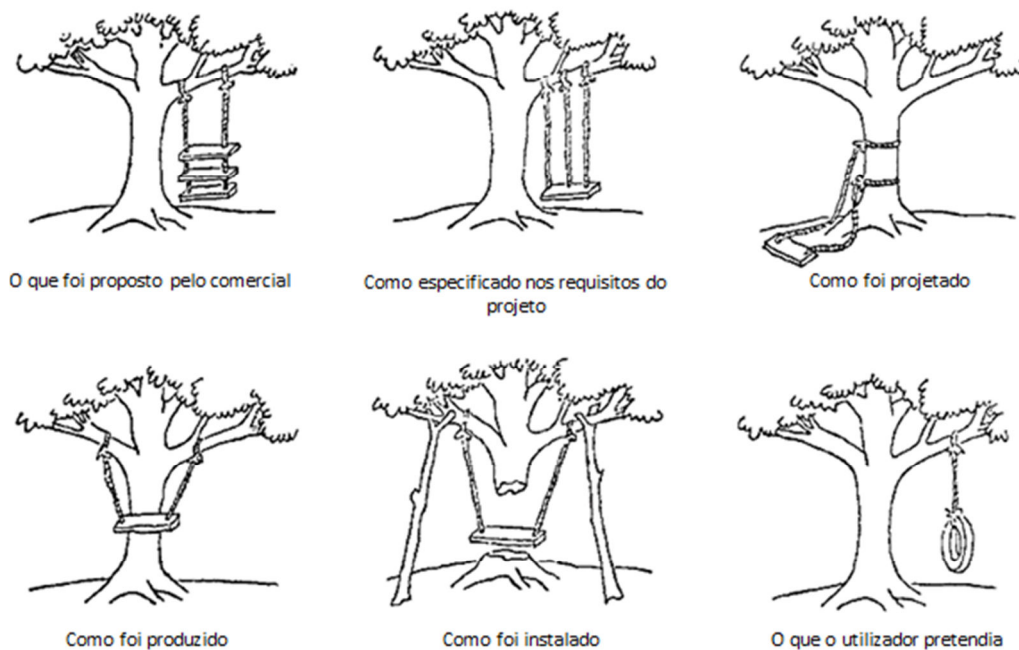


Figura 3 - A interpretação do problema segundo diferentes pontos de vista [adaptado de [3]]

Como se verifica, vários intervenientes podem entender o problema de formas diferentes se este não for devidamente descrito pelo que a enunciação do problema deve ser escrita num documento. Esse documento deve ser realizado pelas partes interessadas e estar prontamente acessível. Deve especificar o mais concretamente possível o que é o problema, incluir os objetivos e metas do projeto, o atual estado da arte e aquele que seria desejável, as restrições postas à proposta de solução do problema e a definição de quaisquer termos técnicos específicos.

A recolha de informações relativas ao projeto é morosa e por vezes pouco produtiva pois o âmbito do projeto pode ser uma área muito específica ou pouco divulgada. De uma forma geral, é conveniente responder às seguintes questões:

- O que é necessário saber?
- Onde encontrar e como obter essa informação?
- Essa informação é credível?
- Como interpretar essa informação face às reais necessidades?
- A informação recolhida é suficiente?
- Que decisões resultam dessa informação?

A criação de soluções alternativas requer destreza e bom senso, sendo a experiencia uma mais-valia. A capacidade para criar boas soluções é vital para o sucesso do projeto. A avaliação das

diferentes propostas de solução do problema envolve a aplicação de processos sistemáticos de análise com vista à manufatura, estimativa de custos, avaliação da performance por simulação computacional, criação de protótipos, etc.

Os resultados de todo este processo devem ser devidamente documentados e comunicados às partes intervenientes, sob o risco de perda de dados no fluxo de informação.

2.3.2. Metodologia de projeto do Produto de Asimov

Desde o início dos anos 60 que surgem várias metodologias para o projeto dos produtos. Dos modelos apresentados desde então destaca-se a metodologia proposta por Asimov, em 1962, que compreende o projeto do produto em sete fases englobando aspetos de manufatura, logística e de consumo, como apresentado na figura abaixo e descrito posteriormente.

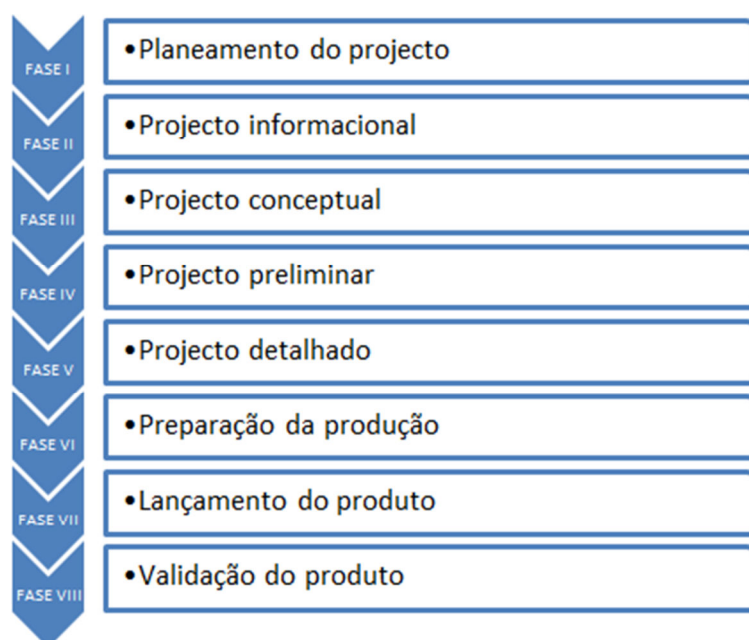


Figura 4 - Metodologia do projeto do produto, segundo Asimov

Resumidamente, a Fase I destina-se ao planeamento do projeto face à estratégia de negócio da organização; na Fase II faz-se a definição das especificações do projeto; a Fase III remete-se ao desenvolvimento da conceção do produto; na Fase IV estabelece-se o *layout* do final do produto; a Fase V destina-se à aprovação do protótipo do produto, finalização das especificações dos componentes que o constituem, detalhe do plano de manufatura e preparação do investimento; a Fase VI destina-se à preparação da produção do produto; na Fase VII faz-se o lançamento do produto no mercado; por fim, a Fase VIII destina-se ao encerramento do projeto, após a sua validação junto dos clientes.

2.4. Gestão da Informação do Projeto

Cada atividade ou tarefa do processo de projeto necessita e gera informação. É fundamental que essa informação esteja acessível a todas as partes envolvidas e com a disponibilidade e tempo necessários. A figura seguinte apresenta os processos envolvidos na gestão da informação e o fluxo de informação.

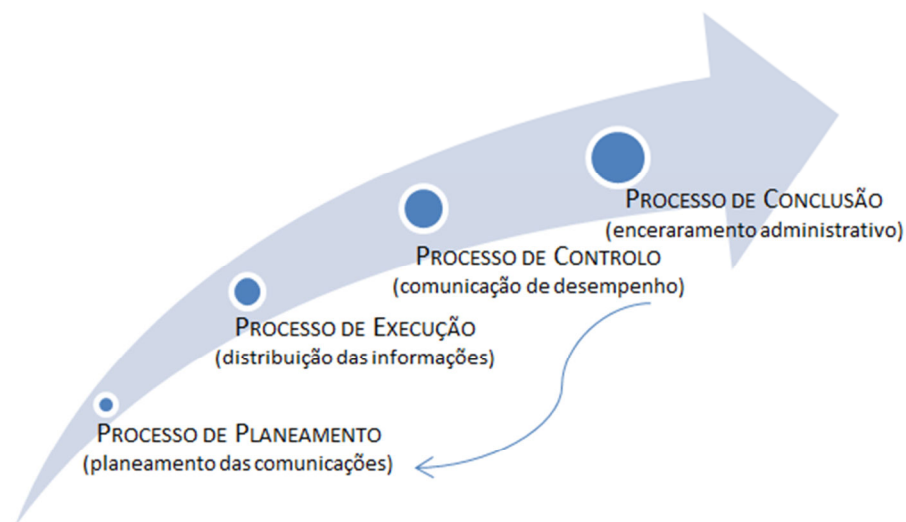


Figura 5 - Modelo de gestão da informação [adaptado de [5]]

Como se verifica, a gestão da informação, no geral, compreende quatro processos: Planeamento das Comunicações, Planeamento das Informações, Comunicação de Desempenho e Encerramento Administrativo. Portanto, a função de gestão da informação abrange a recolha, a divulgação, o armazenamento e a partilha da informação.

O processo de planeamento das comunicações indica que informações devem ser distribuídas pelos envolvidos no projeto, referindo o tipo de informação que se trata e a forma como será fornecida.

O processo de distribuição da informação trata de disponibilizar a informação requerida às partes interessadas da maneira mais conveniente.

O processo de comunicação do desempenho trata da recolha e divulgação das informações de desempenho do projeto pelas partes. Compreende a utilização de documentos próprios como relatórios de estado e relatórios de progresso.

Após o encerramento ou interrupção de uma tarefa, o processo de encerramento administrativo faz a verificação e documentação dos resultados com o intuito de fazer chegar essa informação ao principal interessado no projeto (que pode aqui ser indicado como o cliente ou o gestor do projeto).

2.5. Gestão do projeto

A gestão de projetos é a atividade de aplicação de conhecimentos, ferramentas e técnicas de gestão nas fases do projeto com o intuito de se satisfazer os objetivos do mesmo.

Esta atividade compreende cinco grupos de processos. Cada grupo é constituído por um conjunto de processos individuais que se relacionam pelas suas entradas e saídas, sendo as entradas aquilo que é utilizado no processo e as saídas os resultados desse processo. O *Project Management Institute*¹ [5] considera como principais os seguintes processos: Iniciação, Planeamento, Execução, Controlo e Encerramento. Atente-se na figura seguinte:

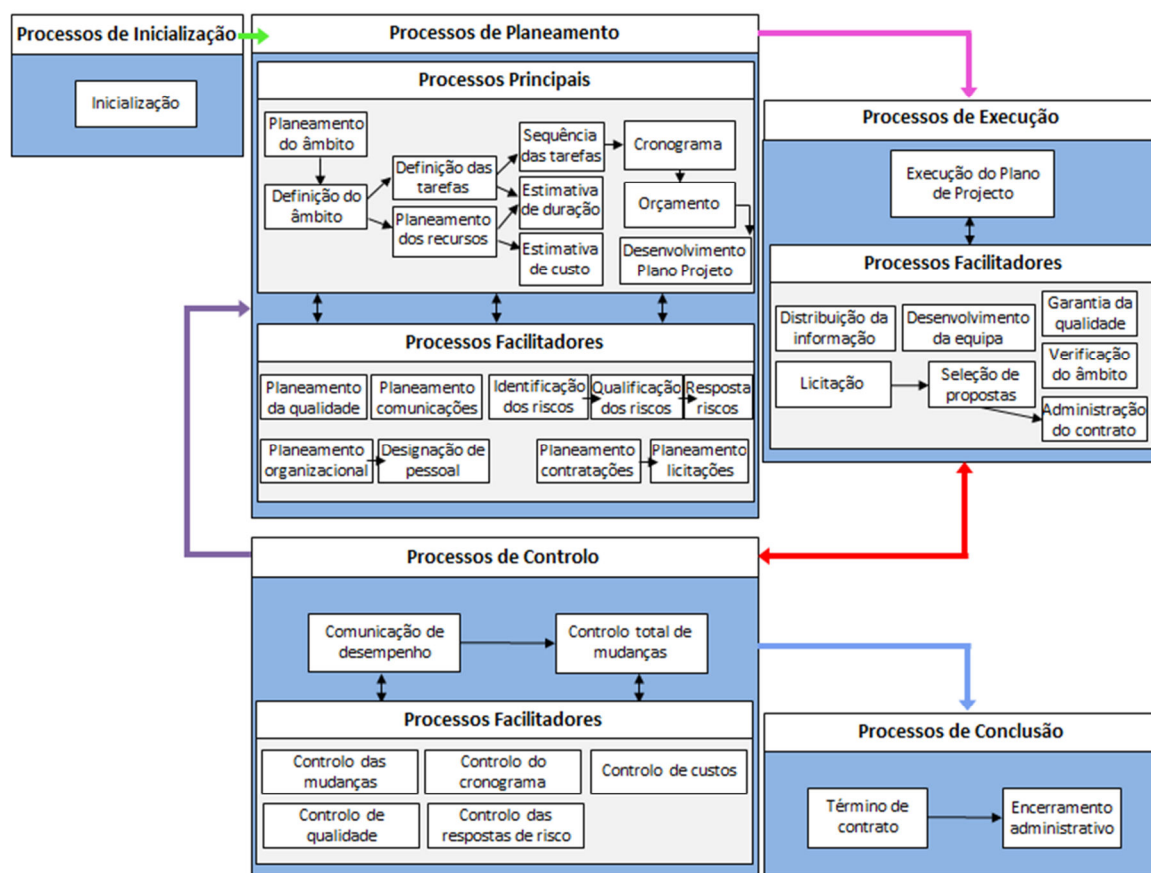


Figura 6 - Modelo do processo de Gestão de Projetos [Adaptado de [5]]

- Processo de Iniciação: é o processo no qual são tomadas todas as ações necessárias para reconhecer que uma fase de desenvolvimento se deve iniciar;
- Processo de planeamento: é o processo com o qual se obtém o planeamento das tarefas a realizar em determinada fase;

¹ O Project Management Institute é uma instituição internacional sem fins lucrativos que associa profissionais de gestão de projetos, com sede na Filadélfia, EUA. Em 2011 foi considerada a maior associação do gênero no mundo, uma vez que integra mais de 260.000 membros em cerca de 170 países.

- Processo de execução: é o processo de coordenação dos recursos necessários à realização do plano de tarefas;
- Processo de controlo: é o processo de monitorização e acompanhamento das tarefas realizadas de forma a assegurar que o planeamento do projeto está a ser cumprido e os objetivos alcançados;
- Processo de encerramento: é o processo no qual se formalizam os resultados de cada fase do projeto, podendo-se dar ou não o seguimento para outra fase.

2.6. Influência da Engenharia Simultânea no Projeto

A engenharia simultânea é uma possível abordagem ao desenvolvimento das atividades do processo de projeto e com influência sob o processo de gestão.

A Engenharia Simultânea pressupõe a realização de algumas atividades em simultâneo tendo em consideração todos os elementos do ciclo de vida do produto com o objetivo de reduzir tempos e custos. Em oposição à engenharia simultânea tem-se a engenharia sequencial, onde as atividades do processo de projeto são executadas, como o próprio nome indica, sequencialmente.

Desta forma, pode-se afirmar que a aplicação da Engenharia Simultânea compreende:

- Desenvolvimento do produto segundo qualidade, tempo e custo;
- Paralelismo de atividades;
- Equipas de trabalho multidisciplinares;
- Partilha de conhecimento;
- Ênfase nas necessidades do cliente;
- Tratamento simultâneo das restrições de projeto e manufatura;
- Gestão do Ciclo de Vida do Produto;

A título exemplificativo, a figura seguinte apresenta uma comparação do tempo necessário para a execução de um projeto segundo a engenharia simultânea e a engenharia sequencial.

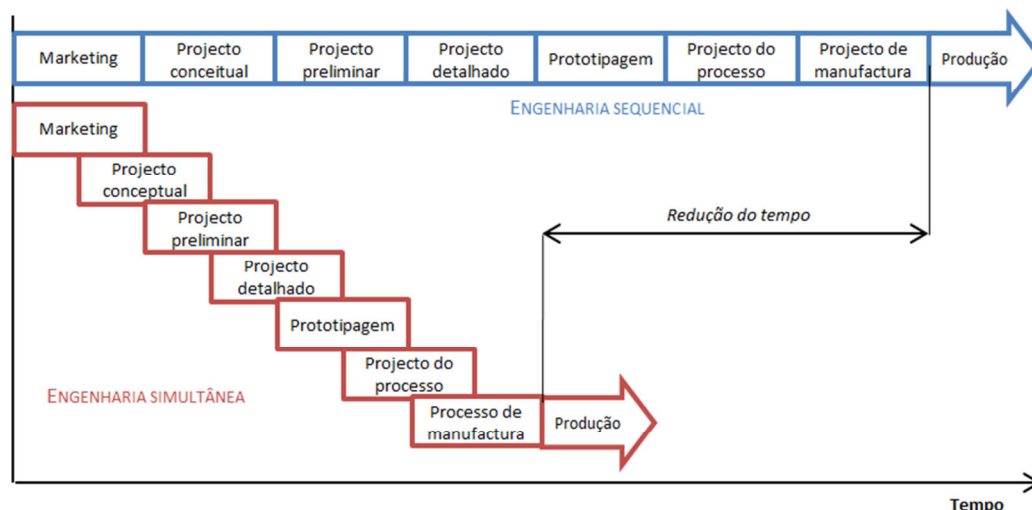


Figura 7 - Tempo de execução do projeto: Engenharia Simultânea VS Engenharia Sequencial [adaptado de [4]]

Como se verifica, a execução de tarefas em paralelo encurta substancialmente o tempo do projeto. Esta comparação não reproduz os efeitos da engenharia simultânea em outros aspetos do projeto, mas subentender-se-á que com a aplicação desta metodologia uma redução de tempos remeterá para uma redução dos custos de projeto pela otimização do processo de gestão e aumento da qualidade geral.

Em linhas gerais, um correto modelo para aplicação da engenharia simultânea deve [4]:

- Estruturar o relacionamento entre os elementos envolvidos: o trabalho é realizado no seio de um grupo, não individualmente. Cada tarefa não se resume unicamente a uma sequência de atividades, envolve o produto, a organização, recursos e fluxo de trabalho.
- Deve ser clarificada o melhor possível: para que os vários elementos que são necessários para a sua realização tenham pleno conhecimento da sua contribuição para com o processo.
- Decompor hierarquicamente: cada projeto é único e tem a sua própria dimensão. É fundamental que exista uma decomposição hierárquica que possibilite identificar as interfaces entre as equipas de trabalho.
- Distribuir paralelamente as tarefas: permite que diferentes equipas de trabalho realizem as suas tarefas paralelamente.
- Estabelecer um diagrama do fluxo de informação: cada equipa de trabalho deve saber quando fazer e o que fazer. Para tal é necessário que exista um fluxo de informação constante e que essa informação seja prontamente acessível a todas as partes envolvidas.

- Pressupor o desenvolvimento progressivo: o processo de projeto deve desenvolver-se progressivamente com o modelo de engenharia simultânea.

3. Definição das especificações de Projeto

O terceiro capítulo relaciona-se com o anterior na medida em que apresenta o processo a desenvolver para que de necessidades de utilizadores ou clientes se obtenham as especificações de projeto necessárias ao seu desenvolvimento.

3.1. Das necessidades dos clientes às especificações de projeto

O desenvolvimento global e o aumento da competitividade levou a uma abordagem de projeto cada vez mais focada nas necessidades do cliente (ou utilizadores), aquilo que o cliente realmente quer e pelo qual está disposto a pagar. Uma abordagem na qual o cliente é colocado no centro do processo.

A realização de um projeto requer um trabalho moroso de recolha de informação. Essa informação deve receber o devido tratamento para que seja o mais objetiva possível.

As necessidades do cliente são fundamentais para o desenvolvimento das especificações de um novo produto ou para o melhoramento de um já existente.

A análise da informação respeitante ao produto a desenvolver está na base das especificações do projeto e é o resultado da fase de projeto informacional. De uma primeira análise da informação resultam as necessidades dos utilizadores, da análise destas resultam os requisitos dos utilizadores, que se transformam em requisitos de projeto e que culminam com a obtenção das especificações de projeto.

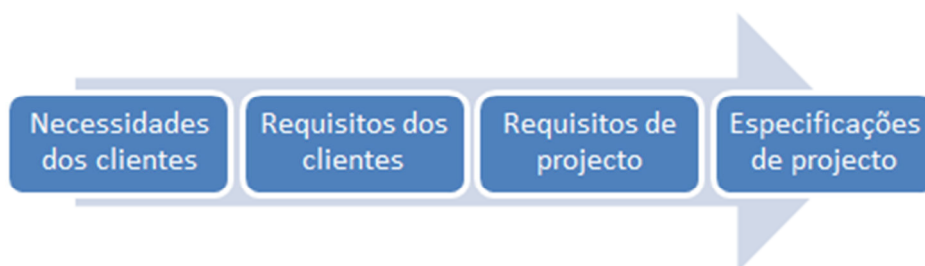


Figura 8 - Processo de transformação da informação [imagem de autoria do próprio]

A definição das necessidades dos clientes é a atividade mais crítica de todo o processo de análise e recolha da informação uma vez que todas as demais atividades assentam sobre o que é definido nesta fase. Os requisitos dos clientes são o resultado do tratamento da informação resultante da etapa anterior e têm como principal objetivo facilitar o entendimento de todos os membros da equipa de projeto, expressam atributos do produto, geralmente de forma qualitativa. Os requisitos de projeto são a transformação dos requisitos dos clientes em matéria quantitativa e constituem um tipo de informação de carácter mais técnico. Por fim, as especificações do projeto são a atribuição de prioridades e a definição de meios para a execução dos requisitos de projeto.

3.2. Identificação das Necessidades do Cliente

Tomando o cliente como externo à empresa, a pesquisa das necessidades é feita sobre um conjunto de métodos formais. De modo a começar a compreender as necessidades do cliente, a equipa de projeto poderá identificar produtos similares ao que o cliente pretende, que já existem no mercado, com particular interesse nas lacunas desses produtos e os requisitos a que realmente esses produtos deveriam atender.

Uma técnica que poderá ser usada nesta fase de compreensão da conceção das necessidades do cliente é o *Brainstorming*.

De modo a auxiliar o processo de recolha da informação, pode ser criado um documento de orientação à pesquisa, uma espécie de levantamento de necessidades do cliente. Este documento deve obedecer às seguintes diretrizes:

- Determinar o objetivo da pesquisa: deve ser escrito um curto paragrafo com a explicação do objetivo da pesquisa e de que forma serão utilizados os resultados;
- Determinar o método de recolha da informação: deve sere identificado o método empregue para a recolha da informação (pesquisa de mercado, entrevista com o cliente, realização de inquéritos etc.);
- Identificar que tipo de informação é necessária: a informação deve ser objetiva e atender aos propósitos do projeto. Deve-se elaborar uma lista de questões a responder. Essa lista não deve conter mais questões do que aquelas que são estritamente necessárias. Cada questão deve ser objetiva, simples, clara e ter interpretação única.
- Ordenação das questões: as questões devem ser ordenadas para que se tenha um “guia” contextualizado da informação que se pretende obter do cliente;
- Inquérito piloto: antes das questões serem apresentadas ao cliente deve ser elaborado um inquérito piloto a um conjunto de indivíduos padrão (que podem ser os elementos da equipa de projeto), de forma a avaliar a qualidade do inquérito realizado;

3.3. Identificação dos Requisitos do Cliente

Depois de elaborada a lista das necessidades do cliente é conveniente que essa informação seja tratada e agrupada em requisitos do cliente.

Esta transformação faz-se pela tradução da informação utilizando-se uma linguagem compacta e apropriada ao entendimento geral da equipa de projeto, baseada em atributos de qualidade do

produto. Os atributos de qualidade podem ser classificados como qualitativos ou quantitativos, obrigatórios ou preferenciais, do ciclo de vida ou específicos.

A tabela seguinte mostra uma lista de atributos típicos de sistemas técnicos que podem ser utilizados como um dicionário de tradução de necessidades dos clientes para requisitos.

Tabela 1 - Atributos típicos de produtos industriais [4]

Classes de atributos	Atributos	Comentários
Atributos básicos	Funcionalidade	Funções, operações, desempenho, eficiência
	Ergonomia	Ergonomia de uso
	Estética	Aparência, estilo, cores
	Segurança	Princípios de segurança, proteção, atos inseguros
	Confiabilidade	Taxas de falhas, redundâncias
	Legalidade	Atendimento às leis de segurança, comércio
	Patenteabilidade	Inovação passível de privilégio
	Normalização	Atendimento às normas internas, de transporte e de comércio
	Robustez	Pouco sensível aos fatores do meio ambiente
	Impacto ambiental	Atende a normas ambientais, poluição, conservação
Atributos do ciclo de vida	Fabrico	Fácil, precisa e de baixo custo
	Montagem	Manutenção fácil e económica
	Embalamento	Embalagem fácil, compacta, económica e segura
	Transporte	Adequado aos meios de transporte e manipulação
	Armazenamento	Conservação, ambientes, manipulação
	Venda	De fácil venda e exposição
	Uso	Fácil operação
	Manutenabilidade	Manutenção fácil, rápida e segura
	Reciclagem	Produto, componente, resíduos recicláveis
	Descartabilidade	Descarte sem contaminação ou dano ao ambiente
Atributos específicos	Geometria	Forma, arranjo, dimensão, espaço
	Cinemática	Movimentos, direção, velocidade, aceleração
	Forças	Direção, magnitude, frequência, rigidez, peso
	Energia	Fontes, potência, rendimento, armazenamento
	Materiais	Propriedades físicas e químicas, contaminações
	Sinais	Entrada, saída, forma, apresentação, controlo
	Automação	Manual, índice de automação
	Tempo	Tempo de desenvolvimento, data de entrega

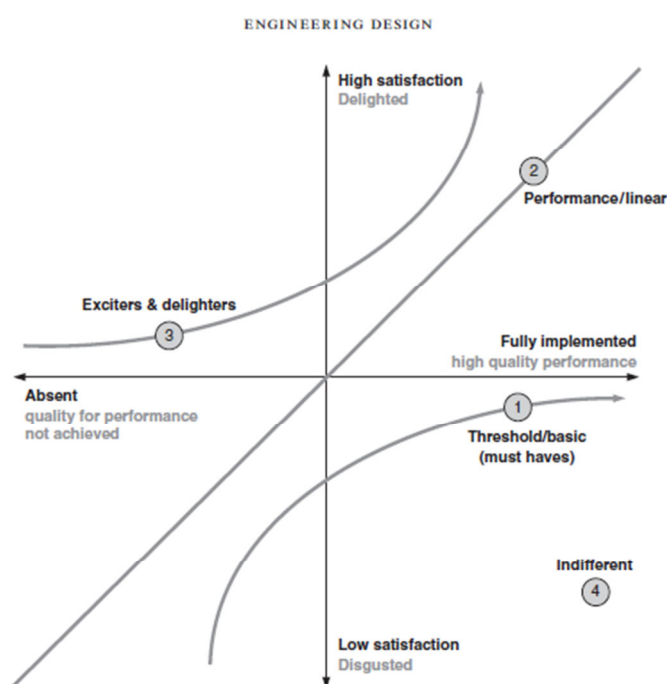
3.3.1. Aplicação do Diagrama de Kano

Apesar de identificados os requisitos do cliente e a importância que o cliente atribui a determinados aspetos do produto, é também importante para a equipa de projeto ter consciência

de que os requisitos indicados têm diferente valor para diferentes tipos de cliente. Desta forma, a equipa de projeto deve identificar aqueles que são mais importantes para o sucesso do produto no mercado alvo.

Esta é uma tarefa difícil mas que pode ser auxiliada pela elaboração do Diagrama de Kano, Figura 9 - Diagrama de Kano. O Diagrama de Kano é um diagrama de dois eixos que mostra como a expectativa da satisfação do cliente (eixo vertical - oy) pode variar com o sucesso da execução (eixo horizontal - ox) dos requisitos do cliente. Estes requisitos do cliente são divididos em quatro níveis [3]:

- Expectáveis (*Expecters*): são os atributos básicos do produto que o cliente espera encontrar;
- Mencionados (*Spokens*): são os atributos que o cliente especificou concretamente e que quer implementados no produto;
- Não Mencionados (*Unspokens*): são atributos que o cliente não especificou mas que são importantes para ele. São atributos que o cliente simplesmente não menciona por esquecimento ou que considera vulgares e que por isso não há necessidade de os identificar;
- Extras (*Exciters/Delighters*): são atributos que fazem do produto único e o distinguem da concorrência.



O sucesso da execução também pode ser interpretado como o desempenho do produto. O nível adequado de desempenho está no ponto zero no eixo ox. Desempenho para a direita do eixo oy indica maior qualidade do que o requerido. Desempenho para a esquerda representa o decréscimo de qualidade para um ponto onde não há especificação da qualidade.

Figura 9 - Diagrama de Kano [http://www.shmula.com]

3.4. Definição dos Requisitos de Projeto

Tendo-se os requisitos do cliente, procede-se à definição dos parâmetros, variáveis e condicionantes do projeto, que são as características de engenharia do produto.

Os parâmetros de projeto são um conjunto de propriedades físicas cujos valores determinam a forma e o comportamento do produto. As variáveis de projeto são parâmetros que admitem outras possíveis soluções, dando possibilidade de escolha à equipa de projeto. As condicionantes, ou limites de projeto, compreendem-se como os limites impostos às propriedades do produto. Como exemplo, tem-se para um parâmetro de projeto uma determinada cota, como variável a escolha de uma cor, e como condicionante o ângulo de abertura de uma porta.

Basicamente, nesta fase faz-se a tradução de conceitos qualitativos em características técnicas mensuráveis e quantificáveis que serão os problemas a serem resolvidos em fases avançadas do processo de projeto.

De forma a auxiliar este processo, a equipa de projeto pode recorrer a métodos de discussão de ideias e a métodos focados no estudo de outros produtos já existentes no mercado. Dos métodos de discussão de ideias realça-se o *Brainstorming* (como também para a identificação dos requisitos do cliente). Este método pressupõe o confronto de ideias entre as várias pessoas que constituem a equipa de trabalho. Dos métodos de estudo de produtos tem-se o *Benchmarking* e a Engenharia Inversa.

A técnica de *Benchmarking* pressupõe o teste de um produto contra o melhor da sua classe existente no mercado e concretiza-se em oito passos [3]:

- 1) Determinar características, funções e outros atributos do produto que são importantes para o utilizador;
- 2) Determinar características, funções e outros atributos do produto que são importantes para a engenharia do produto;
- 3) Identificar as características que notoriamente encarecem o produto;
- 4) Identificar as características que destacam o produto da concorrência;
- 5) Identificar que funções ou características podiam ser melhoradas;
- 6) Estabelecer padrões através dos quais as funções ou características mais importantes do produto podem ser quantificáveis;
- 7) Avaliar o desempenho do produto em comparação com a concorrência;
- 8) Elaborar um relatório do estudo efetuado.

O método de Engenharia Inversa é semelhante ao anterior mas aplicado num sentido mais estrito. Procura identificar formas de projetar um novo produto com base em soluções de conceção já existentes. Um “bom” exemplo da aplicação deste método pode ser verificado pela abordagem levada a cabo por algumas empresas asiáticas no desenvolvimento dos seus produtos. Concretamente, faz-se o desmembramento de um produto de forma a determinar o arranjo e o tipo de componentes que o constituem o que é ainda facilitado quando há acesso a especificações técnicas, desenhos mecânicos e planos de fabrico do produto. Este processo é feito em quatro passos:

- Identificar os requisitos de funcionamento do produto;
- Estudar de que forma o produto executa as suas funções;
- Determinar a relação entre componentes do produto;
- Conjeturar o processo de manufatura e montagem do produto.

3.5. Definição das Especificações de Projeto

O objetivo do processo de recolha e tratamento de informação é a definição das especificações de projeto do produto, estas especificações devem constar num documento. Esse documento providenciará referência e controlo ao processo de projeto e fabrico do produto e deve ser redigido da forma mais clara possível.

Deve-se:

- Evitar suposições erradas;
- Redigir requisitos sobre o que o produto deve fazer e não como o deve fazer;
- Descrever especificações e não operações do produto;
- Escrever de forma estruturada e sem abreviaturas;
- Evitar o sobredimensionamento ou a redundância das especificações.

Pelo que as especificações devem:

- Descrever o que o produto faz e não como faz;
- Ter identidade única e um nível de detalhe apropriado ao entendimento do destinatário;
- Ser corretas na expressão da realidade;
- Apresentar viabilidade técnica e económica na sua implementação;
- Apresentar rastreabilidade;
- Ser quantificáveis, verificáveis e apresentar um conjunto completo de especificações;
- Oferecer flexibilidade no que toca à sua alteração;

- E ser aprovadas formalmente.

Deve-se ainda ter em atenção que uma especificação só deve ser redigida se for estritamente necessária, isto é, é necessário aferir o que implicaria a não existência dessa especificação. Se não se verificar qualquer implicância significa que na verdade a especificação não é necessária, é então uma sobr- especificação.

4. Projeto para a Manufatura e Montagem

O projeto para a manufatura e montagem é uma fase particular do projeto. O quarto capítulo apresenta-o realçando os conceitos indispensáveis ao projeto de um produto, sem os quais a sua exequibilidade e montagem seriam impossíveis. Chama-se especial atenção para a importância da normalização no projeto.

4.1. Projeto para a Manufatura VS Projeto para a Montagem

O projeto para a Manufatura está relacionado com o projeto para a Montagem. Ambos remetem para um conjunto de processos e critérios a ter em conta durante o projeto de forma a reduzir direta e indiretamente os custos associados ao fabrico e aumentar a qualidade geral dos produtos. Desta relação resulta o conceito de projeto para a Manufatura e Montagem (*Design for Manufacture and Assembly – DFMA*)

O projeto para a Montagem (*Design for Assembly – DFA*) trata dos aspetos relacionados com a montagem do produto propriamente dita, enquanto o projeto para a Manufatura (*Design for Manufacture – DFM*) trata dos aspetos relacionados com o fabrico dos componentes que no seu conjunto constituem o produto. Nesta filosofia, o produto é projetado com vista à sua máxima eficiência e eficácia, quer durante a vida útil quer nas fases mais embrionárias do ciclo produtivo. Como se compreenderá, o custo total do produto projetado é bastante dependente da qualidade geral do projeto para a Manufatura e Montagem.

4.2. Projeto para a Manufatura

O projeto para a Manufatura pode também ser designado por projeto para o Fabrico. Nele a elaboração de um “desenho” exequível mecanicamente e da forma mais económica possível é fundamental. O projetista não se pode limitar a “desenhar”, deve ter em conta os recursos humanos e tecnológicos disponíveis para o fabrico, e, principalmente, ter em conta as suas limitações, caso contrário o sistema de fabrico não conseguirá responder às necessidades impostas pela equipa de *design*. A figura seguinte representa uma hipérbole daquilo que foi dito acima.

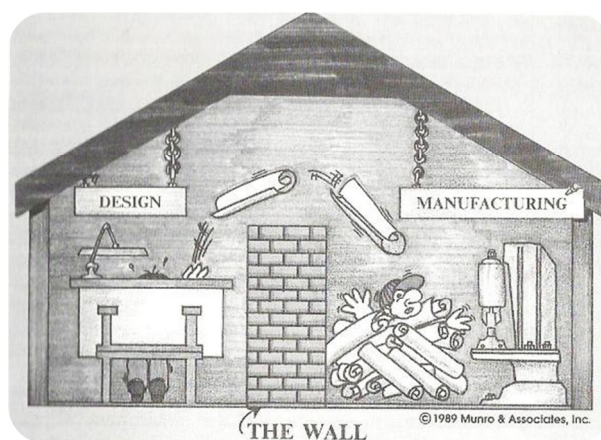


Figura 10 - Hipérbole sobre os problemas do processo de *design* com vista à manufatura [6]

Deve existir comunicação entre as partes de modo a que ambas tenham conhecimento dos limites que condicionam a exequibilidade do desenho.

Nestes supostos, são objetivos do Projeto para a Manufatura os seguintes [3]:

- Obter componentes simples e funcionais;
- Reduzir o número total de componentes do produto;
- Utilizar o máximo de componentes standardizados;
- Promover a partilha de componentes;
- Standardizar procedimentos de fabrico associados à manufaturabilidade (furações, roscas, etc);
- Minimizar a execução de operações de fabrico que acrescentam pouco valor ao produto.

4.2.1. Influência dos processos de fabrico na manufaturabilidade

Os Processos de Manufatura ou Fabrico podem ser divididos em três tipos:

- Processos primários: partem da matéria-prima e dão-lhe forma. São exemplos: fundição de metais, fundição/ injeção de polímeros e forjamento;
- Processos secundários: modificam a forma através da adição de características por operações de maquinagem ou através de tratamentos térmicos;
- Processos de acabamento: tratam do acabamento dos componentes, conferindo-lhes o seu aspeto final, através de operações de polimento, pintura, revestimento, entre outros.

A correta seleção do processo de fabrico mais adequado a cada componente é fundamental. O processo de fabrico é definido segundo a quantidade de componentes a produzir, a complexidade da geometria, o material utilizado, a qualidade geral pretendida para o componente, o custo de fabrico e a disponibilidade e prazos de entrega.

Apresenta-se de seguida um modelo genérico para a seleção do processo de fabrico mais adequado ao componente a produzir composto por quatro passos:

- I. De acordo com as especificações do componente (material, partes, e geometria), identifica-se a classe do material, o número de subcomponentes que constituem o componente principal, a sua forma, tamanho e espessura, acabamento superficial e tolerâncias dimensionais e geométricas. Deve-se ter também em conta a quantidade de componentes a produzir. Identificados estes itens, têm-se definidas as limitações impostas ao fabrico.

- II. Define-se qual é o objetivo principal do processo de fabrico. Por exemplo, pode-se pretender um processo que confira o máximo de robustez ao componente, um processo que seja o mais económico possível, que seja o mais rápido, que confira o melhor estado de acabamento ao produto ou que conduza o mais próximo possível ao estado de produto acabado.
- III. Definido o objetivo do processo e tendo em conta as limitações verificadas no primeiro ponto, de entre os processos disponíveis eliminam-se aqueles que não são capazes de cumprir o pretendido.
- IV. Identificados os possíveis processos, faz-se uma listagem ordenada conforme o objetivo que foi definido no segundo ponto. Por exemplo, se foi definido como objetivo a economia lista-se os processos do mais económico para o mais dispendioso (ou vice-versa).

A cadência de produção de um processo pode não ser suficiente para suprir as necessidades de todo o projeto pelo que a produção pode ser feita em lotes. O tamanho desses lotes é definido em função das necessidades previstas e dos custos diretos e indiretos relativos a armazenamento e transporte. A flexibilidade do processo é também importante e relativa ao tamanho do lote. O Tamanho Económico de Lote (*Economic Batch Size*) define a quantidade economicamente viável a produzir em cada lote e é geralmente utilizado também como critério de seleção entre diferentes processos de produção. Por sua vez, a flexibilidade é definida como a facilidade com que o processo pode ser adaptado com vista à produção de diferentes produtos ou variantes do mesmo produto e é bastante influenciada pelos tempos necessários à mudança de periféricos da máquina (entenda-se ferramentas como: brocas, fresas, ferros de corte, machos, etc).

A figura 11 mostra o tamanho económico de lote típico para diferentes processos.

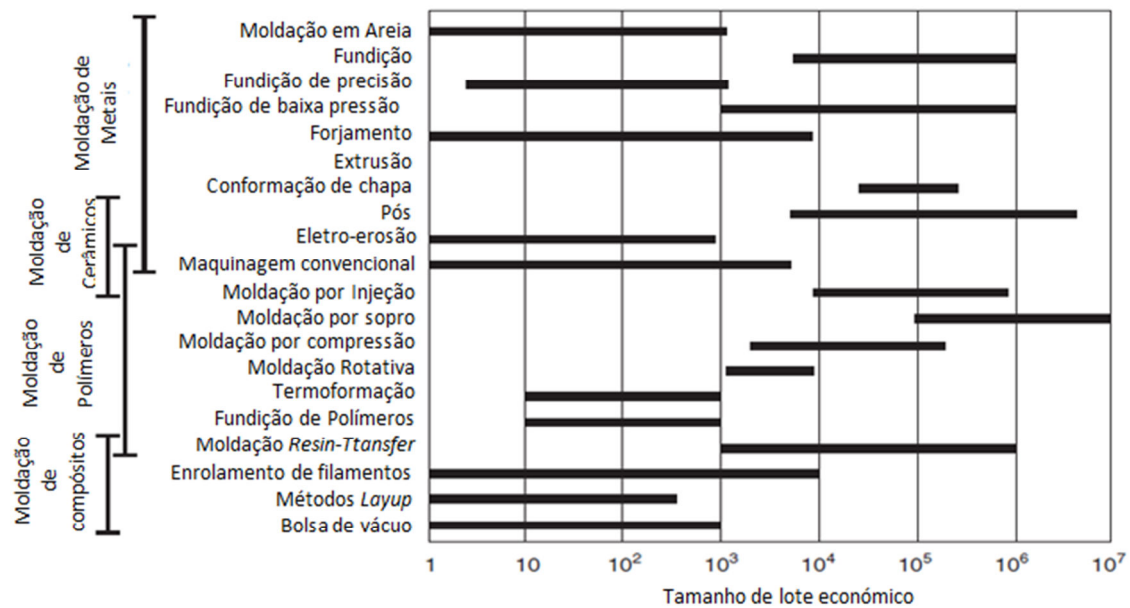


Figura 11 - Tamanho económico do lote em função do processo de fabrico [adaptado de [3]]

Como já mencionado, o processo de fabrico é também função da geometria e características de acabamento do componente a produzir. As figuras seguintes apresentam aspetos relacionados com algumas características do componente em função dos diferentes processos de fabrico:

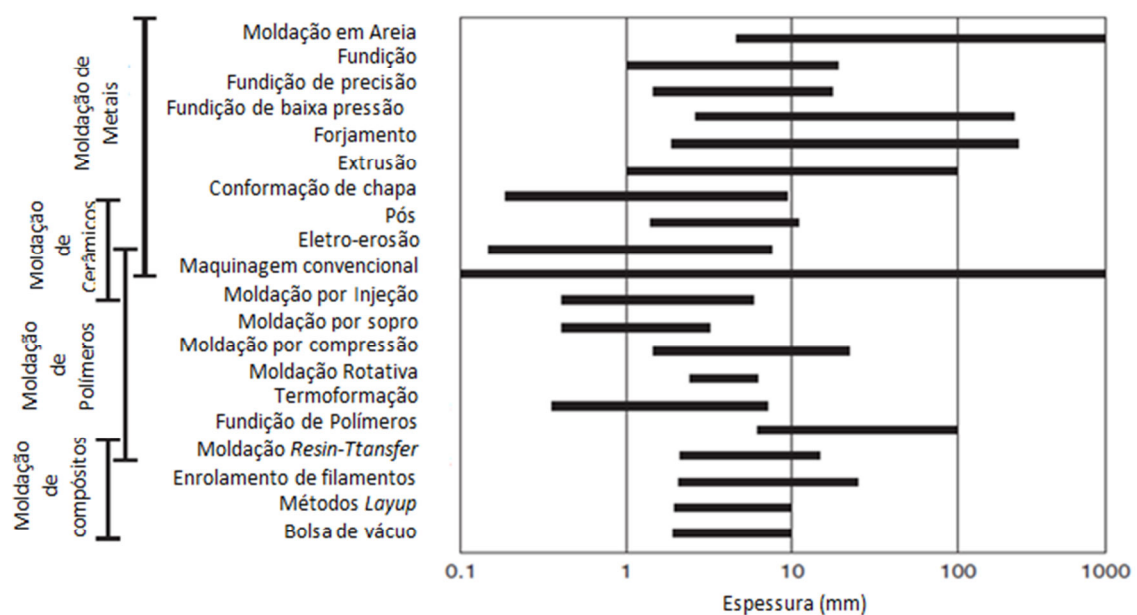


Figura 12 - Espessura mínima obtida em função do processo de fabrico [adaptado de [3]]

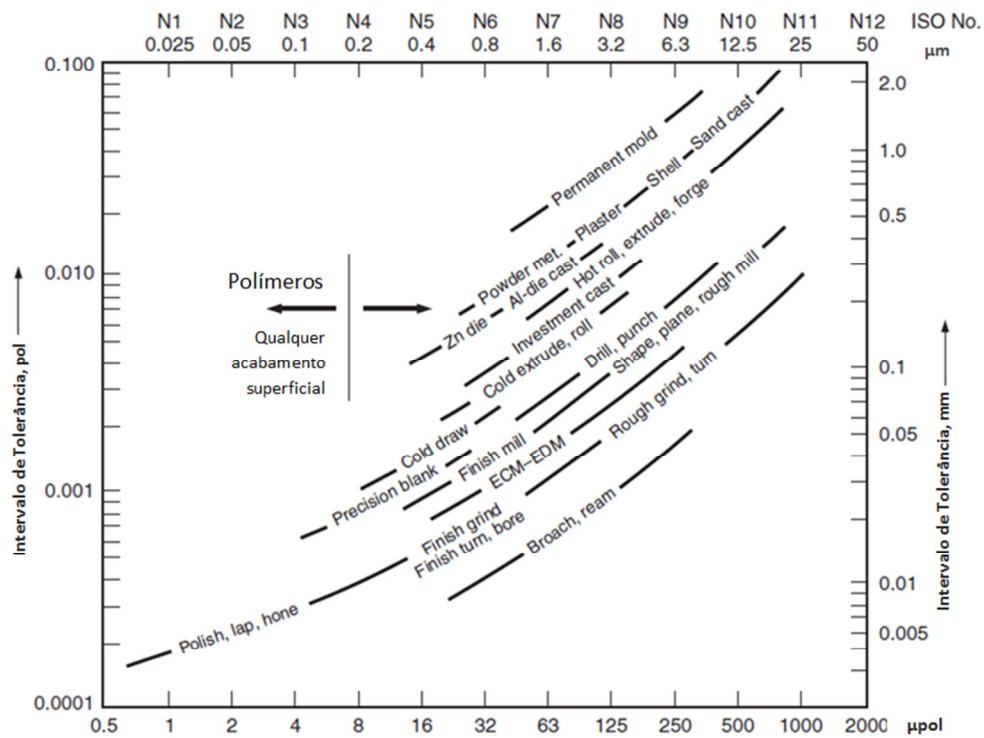


Figura 13 - Rugosidade superficial e tolerância dimensional geralmente obtidas por diferentes processos de fabrico [adaptado de [3]]

Relativamente ao toleranciamento dimensional, é fundamental ter noção de que o grau de toleranciamento exigido ao processo aumenta exponencialmente o seu custo. Atente-se na figura seguinte que ilustra essa situação.

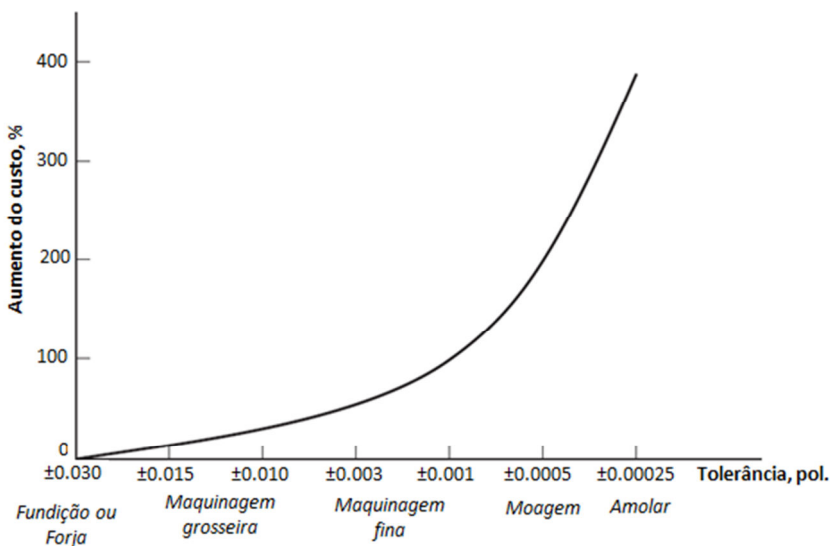


Figura 14 - Influencia das tolerâncias dimensionais nos custos de fabrico [adaptado de [3]]

4.3. Projeto para a Montagem

No caso do projeto para a Montagem, o tempo é um dos fatores que mais influencia o custo total do produto. A otimização dos tempos de produção é crucial mas por vezes não é tida em conta com a importância que deveria, noutros casos os requisitos da produção não justificam um estudo minucioso desses tempos [3] [7] [8].

O processo de montagem de componentes compreende duas operações: manuseamento seguido de acoplamento e é dividido em três tipos de montagem, classificados de acordo com o nível de automatização que possuem: montagem manual, montagem automática e montagem robotizada. Neste ponto será abordada a montagem manual.

O custo da montagem é função da quantidade de componentes do produto e do grau de complexidade relativo ao seu manuseamento e acoplamento. Os objetivos do projeto para a Montagem dividem-se em três categorias distintas que remetem para a obtenção de um processo eficaz e eficiente: objetivos gerais, objetivos de manuseamento e objetivos de acoplamento.

Os objetivos gerais são:

- Minimizar o número total de componentes;
- Diminuir a quantidade de trabalhos a realizar numa determinada posição;
- Utilizar subconjuntos de componentes;
- Utilizar sistemas *Poka-yoke*;

Os objetivos relativos ao manuseamento são:

- Diminuir a utilização de ligações por aparafusamento;
- Projetar com vista a um fácil manuseamento e acoplamento;

E os objetivos relativos ao acoplamento são:

- Definir uma direção de montagem comum ao maior número de componentes;
- Projetar com vista a não obstruir zonas de aparafusamento ou zonas de acesso difícil;
- Minimizar a força humana necessária ao acoplamento de componentes.

Deve-se procurar reduzir o número de componentes que constituem um conjunto ou subconjunto, por exemplo, através da combinação de diferentes partes em apenas uma com múltipla funcionalidade (um bom exemplo desta solução é o sistema de tração à frente dos automóveis: o

eixo dianteiro tem a função de tracionar e direcionar o veículo, acoplando ainda elementos do sistema de suspensão).

A forma dos componentes utilizados afeta o modo como são manuseados e posicionados. Projetar e utilizar componentes que não corram o risco de encravamento, simétricos, com chanfros ou pernos de alinhamento, facilita o manuseamento e acoplamento.

Deve-se também procurar agrupar os componentes. O agrupamento de componentes tendo em conta as suas características auxilia o processo de montagem. A Tecnologia de Grupo é um exemplo desta filosofia: trata de reunir os componentes em famílias segundo determinadas características com vista a aproveitar as vantagens das suas semelhanças, essas semelhanças podem ser relativas ao seu desenho ou processo de fabrico. O aproveitamento dessas semelhanças pode dar-se das seguintes formas:

- Executando-se atividades semelhantes em conjunto evita-se tempos mortos. Por exemplo, na maquinagem de componentes reduz-se o tempo necessário à troca de ferramentas;
- Padronizando-se os componentes utilizados, ter-se-á uma redução de custos de aquisição de componentes de *aftermarket*. Por exemplo, poder-se-á utilizar sempre o mesmo tipo de parafusos;

Reduz-se também a necessidade de adaptação de toda a produção quando se pretende produzir um novo produto.

4.3.1. Projeto para a montagem manual

Para o fácil manuseamento, acoplamento e inserção dos componentes existe um conjunto de técnicas que devem ser empregues e que por essa razão são apresentadas abaixo. Estas técnicas são apresentadas de forma geral, procurando abranger o maior número possível de casos práticos.

Então deve-se:

Projetar componentes simétricos nos planos XY e XZ ou com simetria de revolução, quando tal não for possível, deve-se procurar conferir o máximo de simetria possível. Quando os componentes não podem ser simétricos, deve-se desenhar componentes o mais assimétricos possível de forma a não originar dúvida quanto à sua forma.

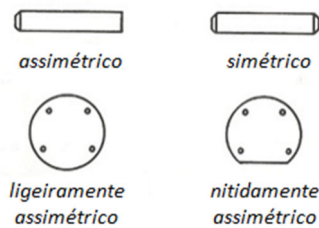


Figura 15 - Componente assimétrico, simétrico, ligeiramente assimétrico e claramente assimétrico [adaptado de [7]]

Projetar de forma a prevenir o atolamento de componentes que tendem a encravar quando são armazenados sobrepostos.

Evitar geometrias que provoquem o acoplamento involuntário de componentes quando são armazenados a granel.



Figura 16 -Componentes propícios a encravamento e acoplamento involuntário e geometrias alternativas [adaptado de [7]]

Projetar para que haja pouca ou nenhuma resistência à inserção e, preferencialmente, fazer chanfros nas extremidades das cavidades ou nervuras. Deve-se ter atenção para que não se crie a possibilidade de ocorrer encravamento.

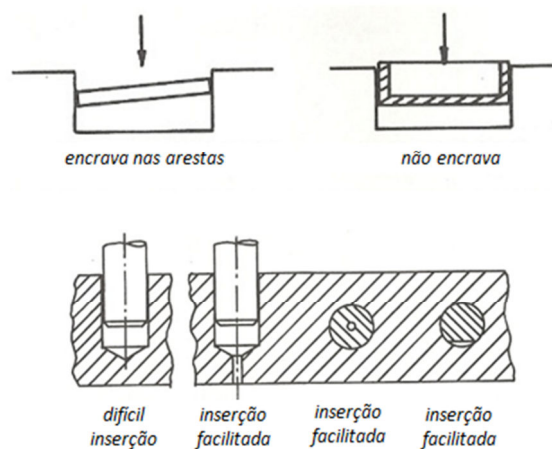


Figura 17 - Componentes propícios a encravamento e geometrias alternativas [adaptado de [7]]

Utilizar um sistema de montagem em pirâmide (sempre que possível): montar segundo a orientação de um eixo ou direção.

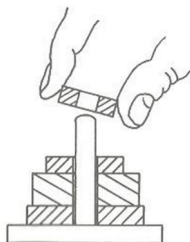


Figura 18 - Montagem em pirâmide [adaptado de [7]]

Projetar para que o componente seja colocado em posição de acoplamento antes de ser largado.

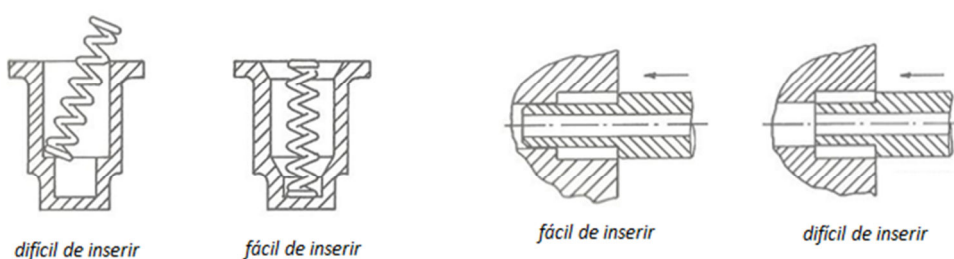


Figura 19 - Componentes difíceis de inserir e geometrias alternativas [adaptado de [7]]

Durante operações de aparafusamento ou cavilhamento, evitar o reposicionamento do componente.

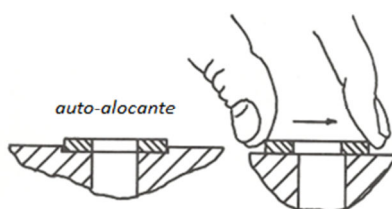


Figura 20 - Componente difícil de posicionar e geometria alternativa do conjunto [adaptado de [7]]

Na montagem de subconjuntos, evitar a necessidade de o operador segurar um componente enquanto prepara outro para a montagem. Os locais onde se utilizam sistemas de fixação, como parafusos ou rebites, devem ter folga suficiente para que seja possível a sua montagem. Devem também ser de boa visibilidade.

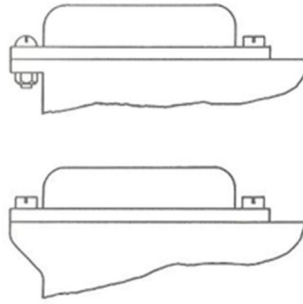


Figura 21 - Conjunto de difícil montagem e alternativa [adaptado de [7]]

4.3.1.1. Sistemas à prova de erro Poka-Yoke

No seio do sistema produtivo os erros incutidos ao operador Humano são frequentes. Assim, é também da responsabilidade do Projeto para Manufatura e Montagem projetar com vista à minimização desses erros.

Em 1961, um engenheiro de produção japonês desenvolveu um princípio chamado *Poka-yoke* (que significa à prova de erro). Este princípio pretende projetar com vista à eliminação dos erros associados à montagem durante a produção.

São comumente empregues componentes assimétricos, sistemas de guiamento de peças, como por exemplo cavilhas, componentes que independentemente da forma como são montados cumprem a sua função, entre outros, como forma de minimizar os erros de montagem.

Um exemplo de um sistema *Poka-yoke*, e que nada tem a ver com produção, é a forma assimétrica dos sapatos.

4.3.2. Sistemas de montagem manual

O posicionamento dos componentes e dos elementos necessários à montagem, relativamente à posição do operador deve também ser objeto de estudo. A otimização da área de trabalho é fundamental. Se o operador não tiver ao seu alcance os componentes, ter-se-á certamente um aumento dos tempos de montagem e o agravamento de fatores inerentes ao bem-estar físico.

Podem definir-se seis tipos de sistemas de montagem, tendo em vista o tipo de produção a que se destinam. Estes diferentes sistemas são apresentados nos pontos seguintes e são abordagens generalistas ao processo de montagem que representam.

4.3.2.1. Montagem em Bancadas

É utilizada para o fabrico de componentes pequenos e de peso reduzido e geralmente para pequenas quantidades de produtos.

Neste sistema, o operador tem à sua disposição uma mesa onde se encontra o sistema o componente principal (no caso da relojoaria, seria a caixa do relógio) e ao seu alcance os restantes componentes.

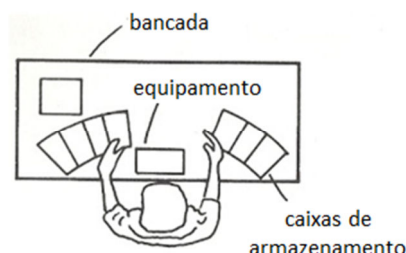


Figura 22 - Montagem em bancadas [adaptado de [7]]

4.3.2.2. Montagem em estações consecutivas com sistema de transporte

É utilizada para grandes volumes e para componentes de reduzidas dimensões. É exemplo disto a indústria dos auto-rádios, telemóveis, televisores, informática, etc.

Existe um tapete transportador, por onde os componentes necessários à montagem vão chegando (e são depois enviados para a estação seguinte) e a montagem é feita segundo os princípios de uma linha de produção (não há fluxos de trabalho inversos, FIFO – *First in, first out*).



Figura 23 - Figura 28 – Montagem em estações consecutivas com conveyor [adaptado de [7]]

4.3.2.3. Montagem em centros modulares

É utilizada quando o volume de produção não justifica a utilização de tapetes transportadores e quando o produto contém vários componentes que pesam mais de 2 kg e mais de 300 mm de comprimento (impossibilitando a sua colocação ao alcance do operador).

² Conveyor é o nome dado ao sistema de transporte de componentes em postos de montagem.

A montagem é feita numa mesa e os componentes e as ferramentas são colocados em prateleiras o mais próximo possível do operador.

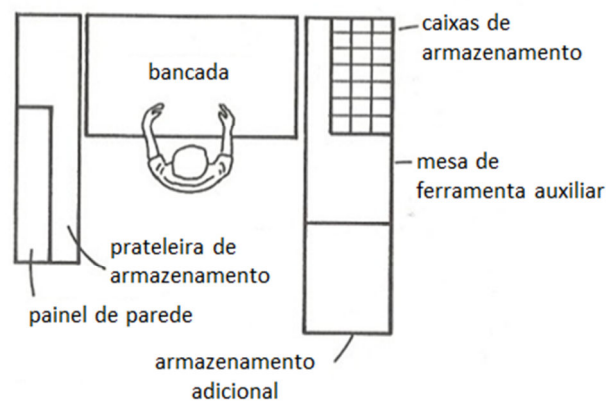


Figura 24 - Montagem em centros modulares [adaptado de [7]]

4.3.2.4. Montagem em centros personalizados

É utilizada quando o produto é constituído por componentes de grandes dimensões (superior a 900 mm). O produto é montado numa mesa de trabalho, ou no chão, e as ferramentas e os componentes necessários à montagem são colocados na periferia da área de trabalho.

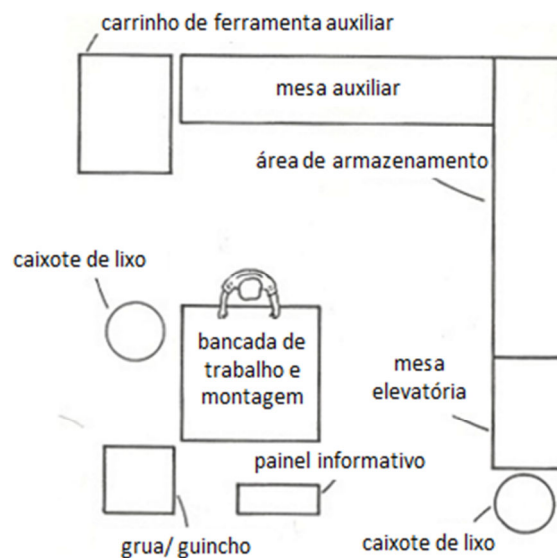


Figura 25 - Montagem em centros personalizados [adaptado de [7]]

4.3.2.5. Montagem em centros flexíveis

É utilizada para produtos ainda maiores que os anteriores (superior a 1600 mm). O arranjo da área de trabalho é semelhante à dos centros personalizados, contudo a maior disponibilidade de

espaço facilita o manuseamento de carrinhos de ferramentas e outros apoios necessários à montagem.

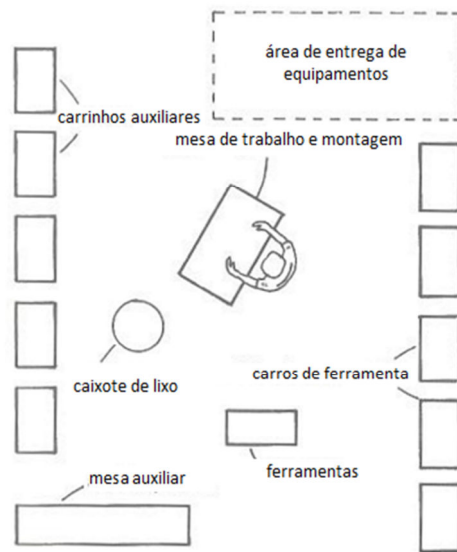


Figura 26 - Montagem em centros flexíveis [adaptado de [7]]

4.3.2.6. Montagem em multi-estações com sistemas de transporte para grandes volumes

É utilizada sobretudo na indústria automóvel. Tomando este exemplo, existe um dispositivo transportador principal onde se encontra o chassi do automóvel, e os periféricos, como motor, bancos, tablier, são adicionados em diferentes estações de trabalho.

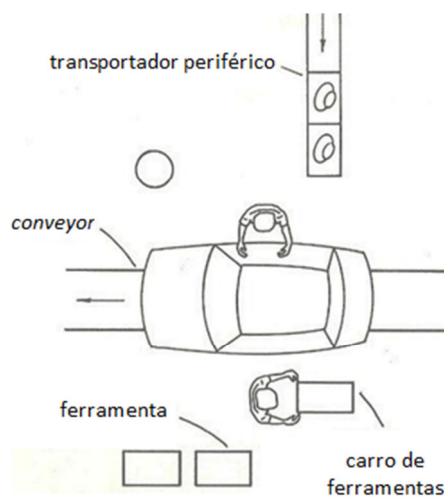


Figura 27 - Montagem em multi-estações com sistema de transporte para grandes volumes [adaptado de [7]]

4.4. Normalização

Estandardizar, padronizar ou normalizar, refere-se a projetar segundo um conjunto de procedimentos, critérios, dimensões, materiais ou componentes. Projetar com vista à aplicabilidade de componentes estandardizados, ou segundo normalizações, leva a uma maior eficiência, segurança e intermutabilidade do produto desenvolvido. Contudo, poderá limitar também a imaginação do projetista, mas, geralmente, os benefícios da utilização de componentes estandardizados sobressaem sobre as suas limitações. Veja-se:

Relativamente à redução de custos [3]:

- **Custos de aquisição:** a estandardização de componentes e a consequente redução de *part numbers* resultará numa redução dos gastos com *Outsourcing*³ uma vez que se poderá obter benefícios na compra de grandes quantidades do mesmo produto.
- **Normalização de características do produto:** operações de furação, roscagem, quinagem, etc, requerem um determinado equipamento ou ferramenta para cada tipo de operação específica. A adoção de um valor ou procedimento *standard* para estas operações resultará numa redução do número de ferramentas e variedade dos equipamentos necessários ao fabrico do produto.

Relativamente à qualidade no geral:

- **Qualidade do produto:** tendo-se poucos componentes de um determinado tipo, reduz-se a possibilidade de utilização de um componente errado aquando à montagem.
- **Pré-qualificação de componentes:** a utilização consecutiva de componentes *standard* leva a um enriquecimento da experiência do projetista e operadores de montagem.
- **Redução de fornecedores:** estandardizar componentes levará também a uma redução da quantidade de fornecedores, ora, os fornecedores contratados serão aqueles onde o projetista obteve maior índice de satisfação.

Relativamente à flexibilidade da produção:

- **Logística:** o fluxo de componentes será mais fácil de gerir uma vez que a sua quantidade será reduzida.

³ Designa a ação tomada por parte de uma organização para a obtenção de mão-de-obra subcontratada.

- **Flexibilidade de fabrico:** o fabrico de componentes estandardizados faz com que não seja necessário proceder, sempre que se pretende fabricar um novo componente, a ajustes no sistema de fabrico, pode-se por isso rentabilizar o sistema de produção de forma a responder mais rapidamente às necessidades.

Relativamente à capacidade de resposta do fabrico:

- **Disponibilidade de componentes:** a utilização de uma menor variedade de componentes leva a que a probabilidade de ocorrência de rutura de *stocks* e atrasos na produção seja menor.
- **Entrada de material de fornecedor:** a estandardização deverá levar a uma celeridade de resposta por parte dos fornecedores.

A indústria automóvel é um bom exemplo do desenvolvimento e aplicação de componentes estandardizados. Neste ramo, existem vários componentes que são partilhados por marcas do mesmo grupo, como é o caso do grupo PSA e VW (partilha de motores e componentes do habitáculo) e componentes que são empregues em produtos de diferentes grupos como é o caso dos motores Diesel da FIAT que são utilizados pela GM e Suzuki.

5. Segurança em Máquinas Industriais

O quinto capítulo apresenta fundamentos relativos à segurança de máquinas tendo em conta a legislação Europeia e Nacional em vigor. Fala-se sobre a Diretiva Máquina 2006/42/CE e dá-se particular ênfase às medidas de redução de risco e aos meios de proteção optoelectrónicos.

5.1. Enquadramento ao tema

No contexto industrial, a segurança é um fator importante tanto ao nível humano como jurídico e é tido com igual importância quer pelos fabricantes quer pelos utilizadores dos equipamentos.

Existem regulamentos internacionais que regem a segurança dos utilizadores, cada um é diferente do outro e em função do estado membro a que se aplica, mas no geral todos assentam sobre os mesmos princípios básicos [9]. Atente-se:

- O fabricante deve identificar e avaliar todas as zonas de perigo da sua máquina mediante a realização de uma avaliação de riscos.
- Com base nessa avaliação deve tomar as devidas providências para eliminar ou reduzir o risco. Nas situações em que não seja possível eliminar por completo o risco, o fabricante deve seleccionar e aplicar sistemas de protecção e, se necessário, informar sobre os riscos remanescentes.
- Deve executar uma validação geral das medidas aplicadas, de forma a assegurar que as mesmas estão a cumprir a sua função.

Os elementos e requisitos para a segurança têm sofrido uma constante evolução, fruto do desenvolvimento tecnológico e das necessidades humanas. Esta evolução tem contribuído para a criação de dispositivos capazes de cumprir a sua função de protecção sem interferir com os procedimentos de trabalho dos utilizadores, chegando até, em algumas situações, a aumentar a sua produtividade uma vez que quanto maior for o grau de segurança, maior é a motivação e a satisfação.

A Comissão da União Europeia e o Conselho da União Europeia, de forma a assegurar simultaneamente a livre circulação de mercadorias e a protecção dos cidadãos, adotaram um conjunto de diretivas de segurança que cada estado-membro deve transpor para a respetiva legislação nacional.

Têm-se as seguintes diretivas:

- Diretiva Máquinas: dirigida aos fabricantes de máquinas;
- Diretiva para a Utilização de Equipamentos de Trabalho: dirigida aos operadores de máquinas;
- Outras diretivas específicas: Diretiva de Baixa Tensão, Diretiva CEM e Diretiva ATEX.

Estas diretivas podem ser consultadas no *site*: <http://eur-lex.europa.eu/> e de forma a clarificar o dito acima, atente-se na Figura 28 - Diretivas para a Segurança de Máquinas na EU [adaptado de].

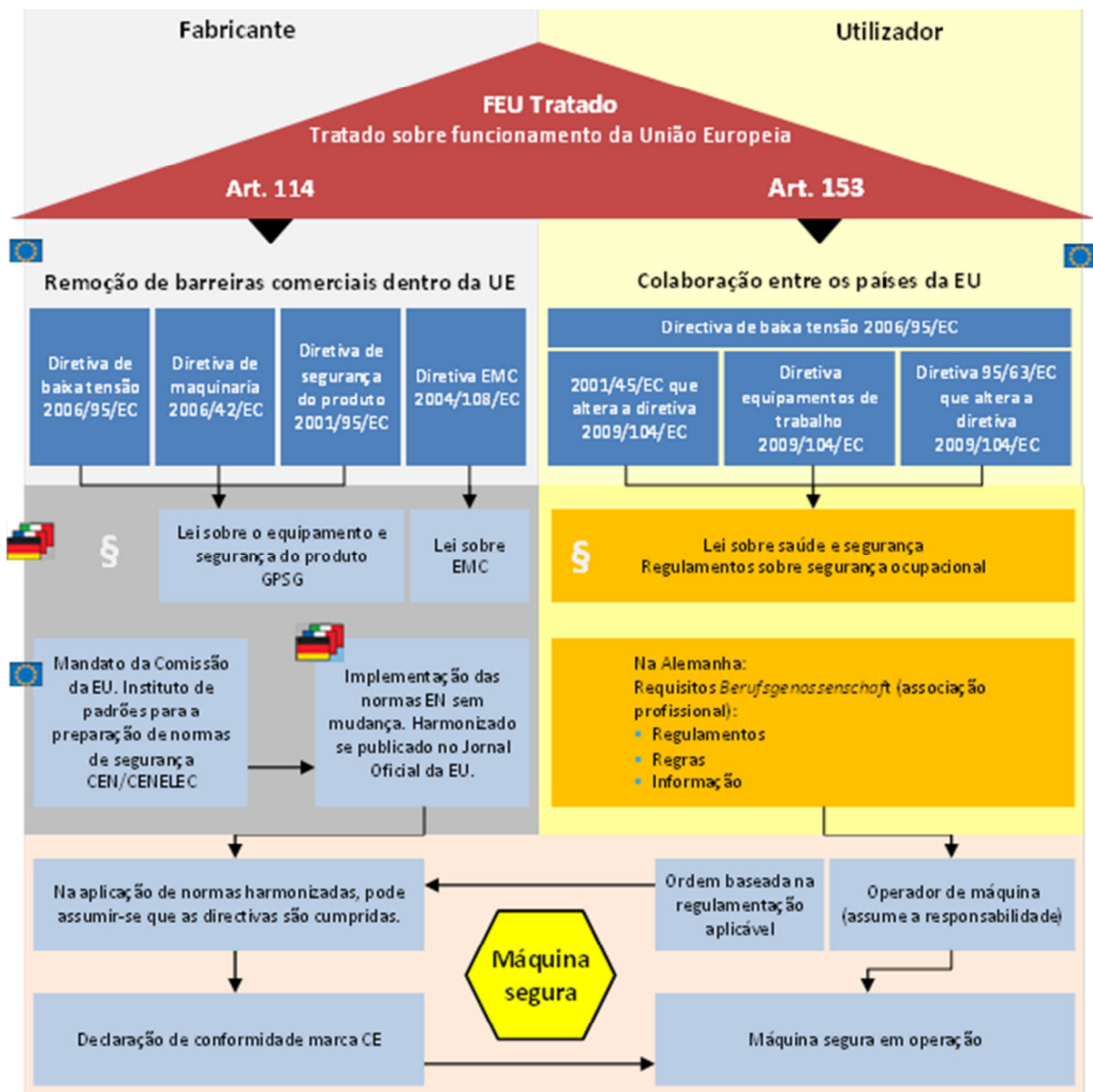


Figura 28 - Diretivas para a Segurança de Máquinas na EU [adaptado de [10]]

5.2. Diretiva Máquinas 2006/42/CE

A Diretiva Máquinas 2006/42/CE é dirigida aos fabricantes e comerciantes de máquinas e componentes de segurança novos e também a máquinas usadas e equipamentos provenientes de países externos que se comercializem pela primeira vez na UE.

Esta diretiva estabelece as ações necessárias para o cumprimento dos requisitos de saúde e segurança em máquinas, de forma a eliminar barreiras comerciais dentro da Europa e garantir aos utilizadores um elevado grau de segurança e saúde. Esta diretiva encontra-se no Anexo A.

Em Portugal, o Decreto de Lei n.º 103/2008 de 24 de Junho, regulamenta a colocação no mercado e a entrada em serviço de máquinas. Este Decreto de Lei encontra-se na íntegra no Anexo B.

Segundo o artigo 5º deste DL é responsabilidade do fabricante [11]:

“1 — O fabricante ou o seu mandatário, antes de colocar uma máquina no mercado e ou de a pôr em serviço, deve:

- a) Certificar-se de que a máquina cumpre os requisitos essenciais pertinentes em matéria de saúde e de segurança enunciados no anexo I;*
- b) Certificar-se de que o processo técnico descrito na parte A do anexo VII do presente decreto-lei, que dele faz parte integrante, está disponível;*
- c) Fornecer, nomeadamente, as informações necessárias, tais como o manual de instruções;*
- d) Efetuar os procedimentos de avaliação da conformidade adequados nos termos do artigo 7.º;*
- e) Elaborar a declaração CE de conformidade nos termos da parte A do n.º 1 do anexo II e certificar-se de que a mesma acompanha a máquina;*
- f) Apor a marcação «CE» nos termos do artigo 10.º*

2 — O fabricante ou o seu mandatário, antes de colocar uma quase -máquina no mercado, deve certificar-se de que os procedimentos previstos no artigo 8.º foram observados.

3 — Para efeitos dos procedimentos referidos no artigo 7.º, o fabricante, ou o seu mandatário, deve dispor dos meios necessários, ou ter acesso a esses meios, para poder certificar-se da conformidade da máquina com os requisitos essenciais de saúde e de segurança enunciados no anexo I.”

5.2.1. Quasi-Máquinas

Existe um grupo particular de equipamentos que pelas suas características, à vista da Diretiva Máquinas, não pode ser considerado como uma máquina completa, as Quasi-Máquinas.

Segundo a Diretiva Máquinas 2006/42/CE, define-se quasi-máquinas como um conjunto de componentes que quase constituem uma máquina mas que não desempenham nenhuma função por si só, destinando-se à montagem ou acoplamento a outras máquinas, quasi-máquinas ou equipamentos, para formar conjuntamente uma máquina.

Dada a sua natureza específica, as quasi-máquinas não conseguem cumprir com todos os dispostos pela Diretiva Máquina. Neste caso adota-se um procedimento especial, no qual o fabricante deve [10]:

- Cumprir os requisitos essenciais previstos pela Diretiva que sejam viáveis na medida do razoável.
- Expedir uma declaração de incorporação que descreva que requisitos foram cumpridos.
- Redigir um manual de instruções de montagem (em vez de um manual de instruções) na língua que ambas as partes, fabricante e utilizador, acharem conveniente.

5.3. Normas Europeias para a Segurança de Máquinas

Estas normas descrevem como aplicar os requisitos definidos nas diretivas europeias. No contexto de segurança distinguem-se três tipos de normas:

- **Normas A, essenciais de segurança:** apresentam termos, princípios de desenho e aspetos gerais que podem ser aplicados a todas as máquinas.
- **Normas B, categorias de segurança:** apresentam um aspeto de segurança ou um dispositivo de segurança que pode ser utilizado numa ampla gama de máquinas. Estas normas dividem-se ainda em dois tipos:
 - Normas B1 para aspetos específicos de segurança
 - Normas B2 para dispositivos de segurança
- **Normas C, requisitos de segurança:** apresentam todos os requisitos de segurança de uma máquina ou grupo de máquinas específico.

A figura seguinte apresenta a relação entre os dispositivos de segurança e a respetiva norma:

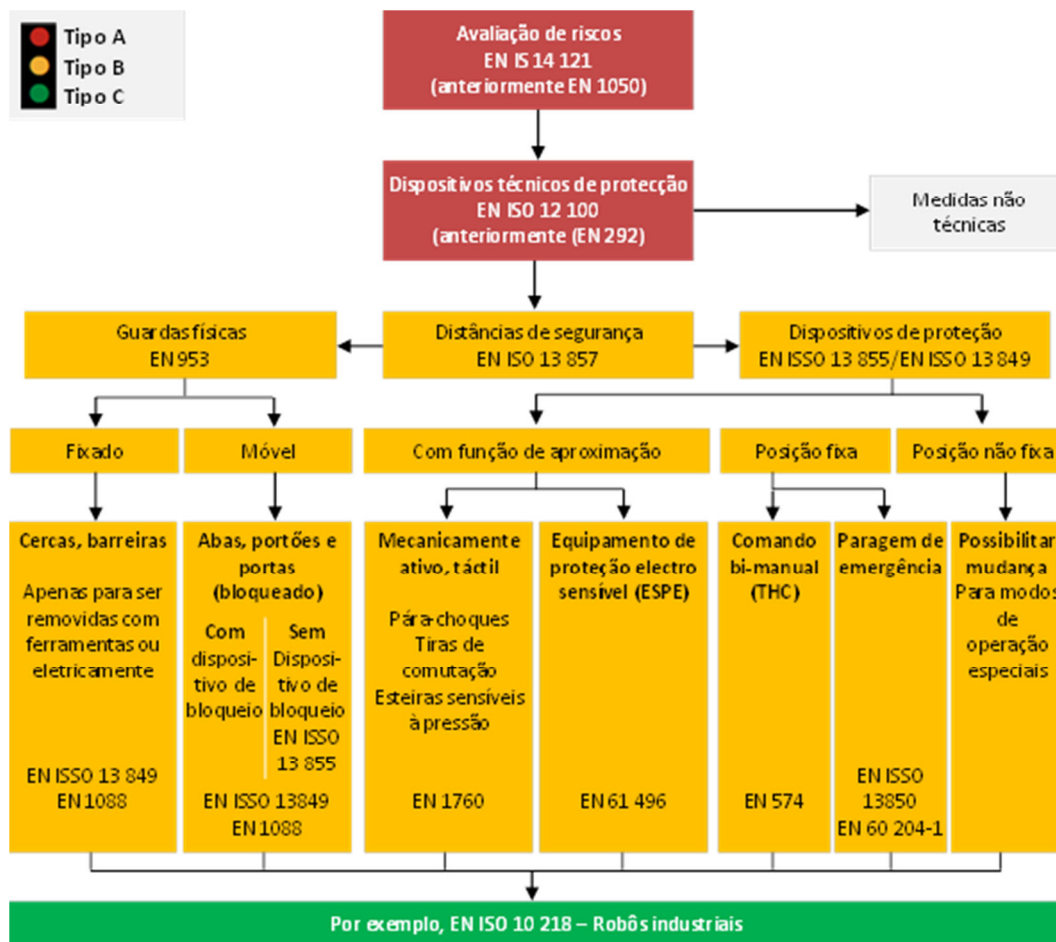


Figura 29 - Tipo de norma aplicável em função do dispositivo de segurança [adaptado de [10]]

Quando existe uma norma de tipo C específica para um determinado tipo de máquina, essa norma sobrepõe-se às normas de tipo A e B.

5.4. Métodos de Avaliação e Redução de Risco

O processo de avaliação de riscos inicia-se pelo estabelecimento das funções da máquina, seguido da identificação dos perigos que a máquina comporta. Depois é feita a quantificação desses riscos, através da realização de uma estimativa de riscos.

Após a avaliação dos riscos procede-se à sua redução. Há riscos que podem ser eliminados à partida nas fases de projeto da máquina, através da alteração das soluções de *design* iniciais. Contudo, existem outros riscos que são inerentes ao próprio funcionamento da máquina e que não podem ser eliminados. Esses riscos são reduzidos o mais possível pela adoção de medidas de proteção técnicas. Os riscos remanescentes devem ser comunicados aos utilizadores da máquina para que estes estejam cientes da sua existência.

Veja-se as figuras seguintes:

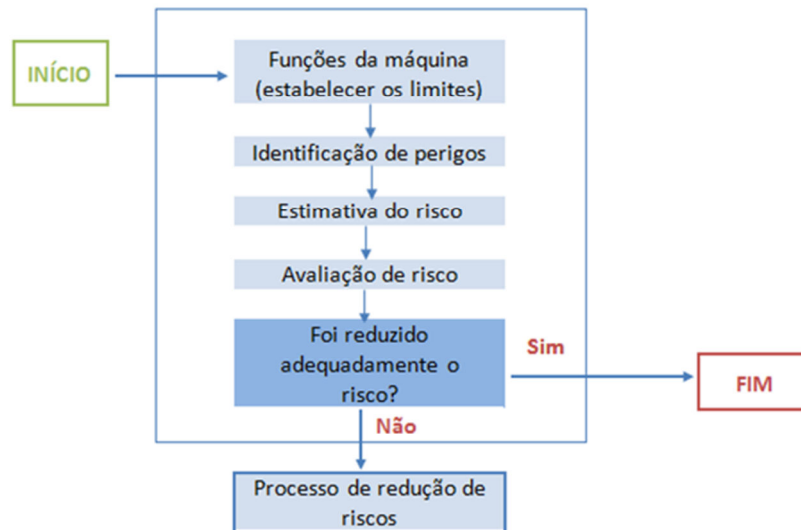


Figura 30 - Processo de Avaliação do Risco (conforme EN ISO 14121)

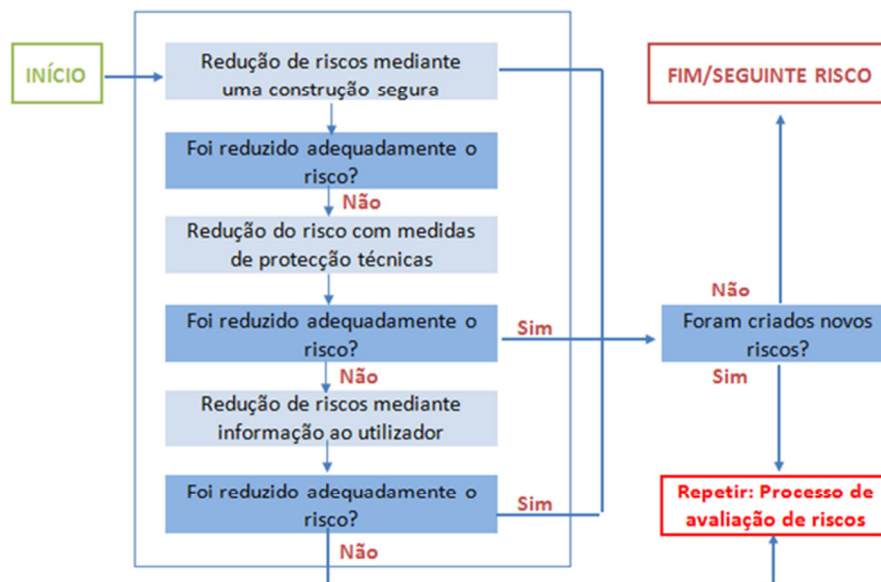


Figura 31 - Processo de Redução de Risco [adaptado de [10]]

5.5. Medidas de Redução de Risco

Como já foi dito, durante as fases de projeto o *design* do equipamento pode ser alterado para que os riscos sejam eliminados. Para tal, deve-se projetar de forma a:

- Evitar arestas, esquinas cortantes e peças sobressaídas;
- Evitar pontos de esmagamento, de corte ou entrada;
- Limitar a energia cinética (massa e velocidade);
- Aplicar princípios de ergonomia.

Os riscos que não podem ser eliminados são minimizados pela adoção de medidas de proteção. Estas medidas diferem consoante o tipo de segurança que se pretende implementar, e da sua

definição parte-se para a seleção dos dispositivos de proteção necessários. De acordo com a Diretiva Máquinas os dispositivos de proteção [11]:

- Devem ser robustos,
- Devem ser solidamente mantidos em posição,
- Não devem constituir perigos suplementares,
- Não devem poder ser facilmente escamoteados ou tornados inoperantes,
- Devem estar situados a uma distância suficiente da zona de perigo,
- Não devem limitar mais do que o necessário a observação do ciclo de trabalho,
- Devem permitir as intervenções indispensáveis à colocação e/ou substituição das ferramentas, bem como aos trabalhos de manutenção, limitando o acesso exclusivamente ao sector em que o trabalho deve ser realizado e, se possível, sem remoção do protetor ou neutralização do dispositivo de proteção.
- Sempre que possível, os protetores devem garantir proteção contra a projeção ou queda de materiais ou objetos, bem como contra as emissões geradas pela máquina.

5.5.1. Exemplos da aplicação de dispositivos de proteção

5.5.1.1. Impedir o acesso permanente

O acesso a uma zona perigosa é interdito através da utilização de dispositivos de segurança separadores: painéis, barreiras ou obstáculos mecânicos.

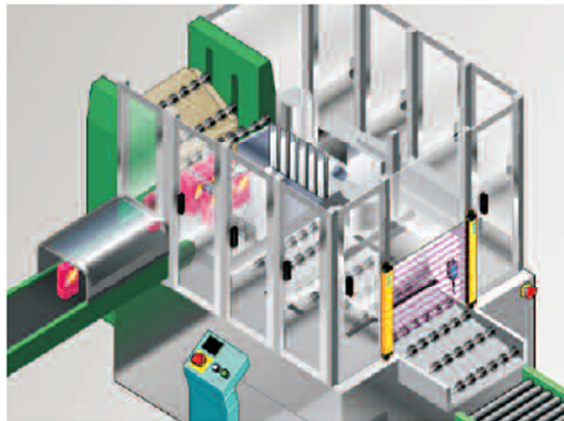


Figura 32 - Dispositivos de proteção separadores [10]

5.5.1.2. Impedir o acesso temporariamente

O acesso a uma zona perigosa é interdito através da utilização de dispositivos de segurança separadores: painéis, barreiras ou obstáculos mecânicos.

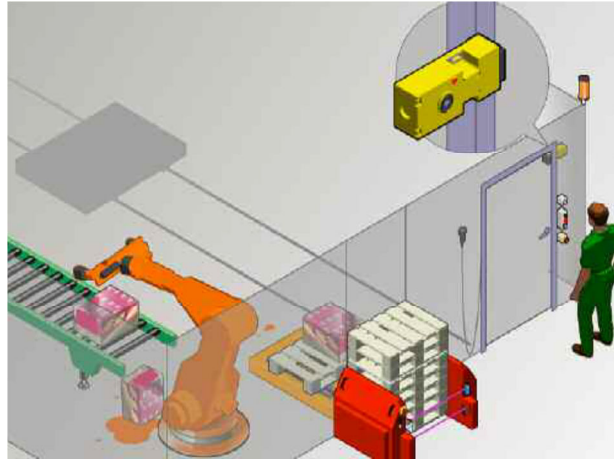


Figura 33 - Exemplo de dispositivo de impedimento de acesso temporário [10]

5.5.1.3. Bloquear peças, substâncias ou radiações

Caso exista possibilidade de projeção de peças, emissão de substâncias ou radiação devem ser utilizados dispositivos de proteção mecânicos como redes, placas de policarbonato, etc.

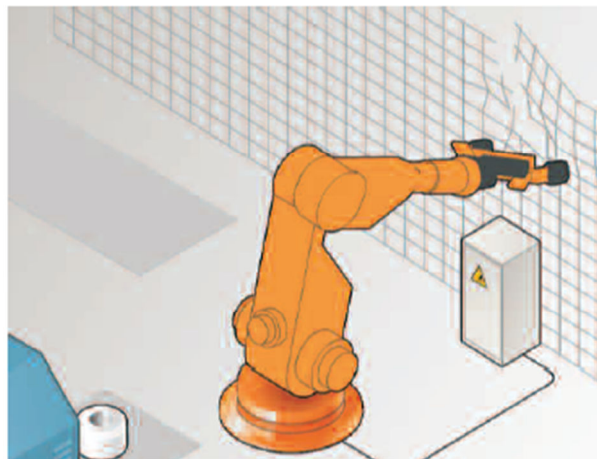


Figura 34 - Exemplo de utilização de uma rede para detenção de robô [10]

5.5.1.4. Provocar a paragem e impedir a colocação em movimento

Existe situações em que é necessário o operador entrar na área de trabalho da máquina, nestes casos deve existir um sistema que detete o operador e coloque a máquina num estado de paragem seguro. Esta deteção pode ser feita pela interrupção de feixes de luz, pela utilização de portas com sensores de contacto, etc.

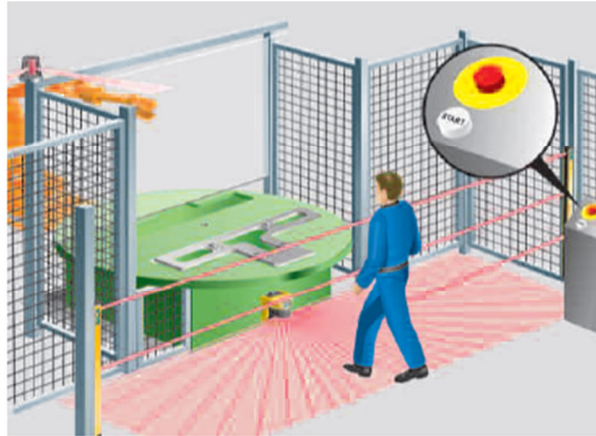


Figura 35 - Exemplo de um sistema de proteção por feixes de luz e reativação da Emergência [10]

A intromissão do operador pode ser propositada (para realizar uma operação no final do ciclo de trabalho, nestes casos a máquina “sabe” que o operador pode avançar) ou involuntária. No caso de ser involuntária, para a colocação da máquina em funcionamento deverá ser necessário rearmar o botão de emergência e seguir um determinado procedimento de segurança, e não poderá ainda existir nada na zona de perigo. Em postos de trabalho com uma só pessoa isto pode-se garantir pela utilização de um comando bi-manual.

5.5.1.5. Distinguir entre pessoas e objetos

Quando é necessário fazer o transporte de objetos para a área de trabalho das máquinas é necessário que o sistema de proteção seja capaz de permitir a entrada desses objetos mas não a intromissão de uma pessoa. Nestes casos pode-se utilizar cortinas de luz horizontais com um algoritmo integrado para distinção entre pessoas e objetos ou um sistema de comutação do campo de proteção de um scanner laser de segurança.

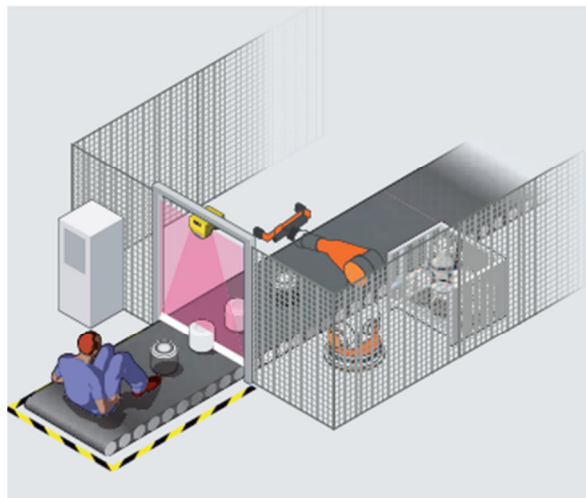


Figura 36 - Exemplo de um sistema de proteção com *scanner* [10]

5.5.1.6. Controlar os parâmetros da máquina

Pode ser necessário controlar parâmetros de funcionamento da máquina de modo a que sejam ativadas medidas de segurança quando os valores nominais de funcionamento são ultrapassados. Um exemplo disto é o controlo de posição de um robô.

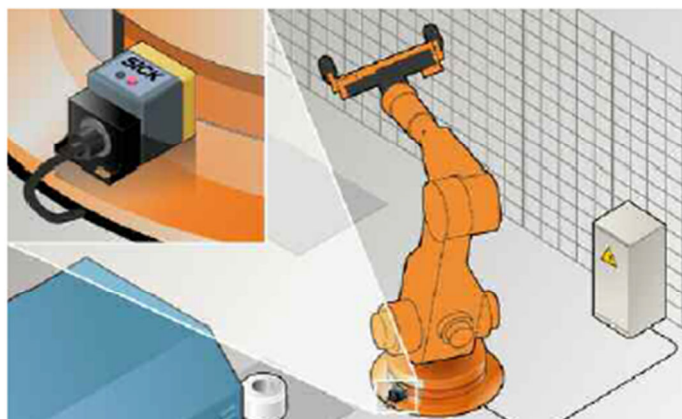


Figura 37 - Exemplo da aplicação de um sensor de posição [10]

5.5.2. Paragem de Emergência e outros comandos

A Paragem de Emergência (EM) é uma medida de segurança complementar que se traduz pela interrupção do trabalho da máquina, para uma posição de segurança, pela ativação direta do botão de emergência ou pela ativação de sensores de segurança. Todas as máquinas devem estar equipadas com um ou vários dispositivos de paragem de emergência através dos quais possam ser evitadas situações de perigo iminente ou existentes.

Segundo a Diretiva Máquina o dispositivo de emergência deve [10]:

- Conter dispositivos de comando claramente identificáveis, bem visíveis e rapidamente acessíveis,
- Provocar a paragem do processo perigoso num período de tempo tão reduzido quanto possível, sem provocar riscos suplementares,
- Eventualmente desencadear, ou permitir desencadear, determinados movimentos de proteção.

Quando se deixa de acionar o dispositivo de paragem de emergência depois de se ter dado uma ordem de paragem, esta ordem deve ser mantida por um bloqueamento do dispositivo de paragem de emergência até ao respetivo desbloqueamento; não deve ser possível obter o bloqueamento do dispositivo sem que este provoque uma ordem de paragem; o desbloqueamento do dispositivo só deve poder ser obtido através de uma manobra apropriada e não deve repor a máquina em funcionamento, mas somente autorizar um novo arranque.

A função de paragem de emergência deve existir e estar operacional em todas as circunstâncias, independentemente do modo de funcionamento.

Os dispositivos de paragem de emergência devem complementar outras medidas de proteção, e não substituir-se-lhes.

Para além do dispositivo de paragem de emergência existem outros botões de comando específicos e luzes indicadoras de estados. As luzes indicadoras de estado são sistemas informativos que complementam as funções de segurança, permitindo ao operador identificar um determinado estado de funcionamento da máquina.

Os quadros abaixo apresentam o significado das cores dos comandos e das luzes indicadoras, respetivamente:




Cor		Significado	Explicação
Branco Cinzento Preto		Indefinido	Iniciação de funções
Verde		Seguro	Actua durante o estado de funcionamento normal
Vermelho		Emergência	Actua em situações de falha ou emergência
Azul		Instrução	Actua em situações que é necessário introduzir um comando
Amarelo		Anomalia	Actua em situações de anomalia

Figura 38 – Significado das cores dos comandos [adaptado de [10]]

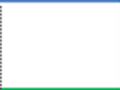




Cor		Significado	Explicação
Branco		Neutro	Usado quando não se aplica verde, vermelho, azul ou amarelo
Verde		Situação normal	
Vermelho		Emergência	Estados de perigo, que necessitam de acção imediata
Azul		Ordem	Indica uma situação em que o operador deve introduzir um comando
Amarelo		Anomalia	Situação de anomalia, situação crítica iminente

Figura 39 - Significado das cores das luzes [adaptado de [10]]

5.6. Dispositivos de proteção optoelectrónicos

Os dispositivos de proteção optoelectrónicos são um tipo de dispositivos em que um componente emissor projeta um feixe de luz que por sua vez é recebido pelo componente recetor, formando-se um feixe “contínuo” cuja interrupção é detetada pelo sistema.

São exemplos de dispositivos de proteção optoelectrónicos os seguintes:

- Cortinas e barreiras de luz
- *Scanners*
- Câmaras

Este tipo de dispositivo é geralmente empregue em situações que não existe perigo de projecção de peças e quando o operador tem que realizar operações na máquina que constituem situações de perigo, mas que fazem parte do ciclo produtivo. Utiliza-se em detrimento dos dispositivos de proteção mecânicos uma vez que se reduz o tempo de acesso à máquina e por se conseguir maior ergonomia do posto de trabalho.

As funções de segurança de um dispositivo de proteção optoelectrónico são:

- Provocar a paragem;
- Evitar um arranque súbito;
- Impossibilitar a colocação em movimento;
- Distinguir entre pessoas e objetos;
- Controlar os parâmetros da máquina;
- Informar sobre o estado da segurança;

Abaixo são apresentadas situações onde o uso destes sensores é o mais indicado:

Proteção de zonas de perigo pela deteção de dedos ou mãos

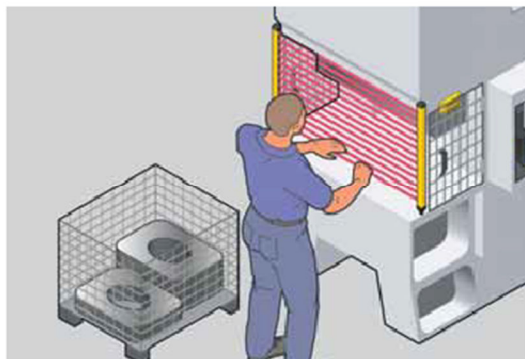


Figura 40 - Utilização de barreiras para a deteção de dedos ou mãos [10]

Proteção contra acesso a uma zona de perigo

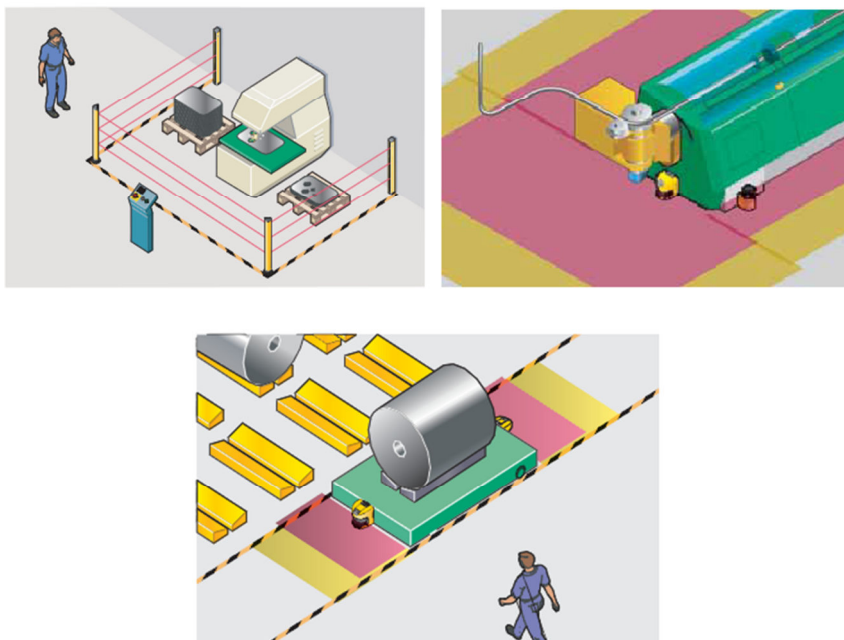


Figura 41 - Utilização de barreiras ou cortinas para a deteção de pessoas/ objetos [10]

Distinguir a aproximação de pessoas ou objectos à zona de perigo

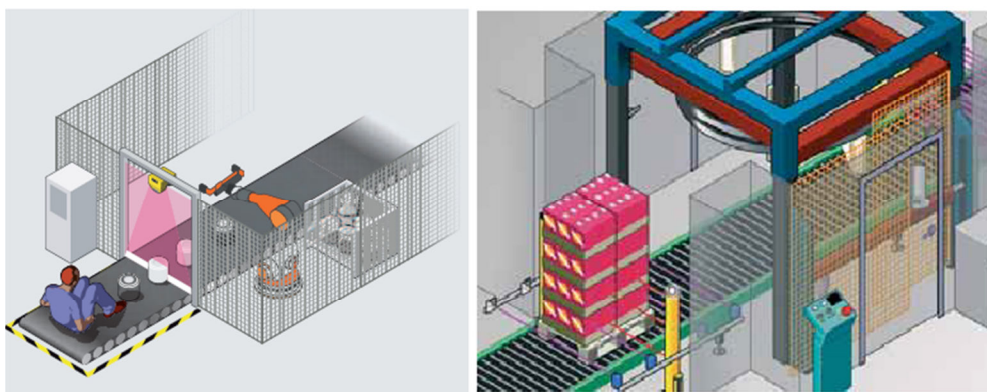


Figura 42- Utilização de *scanner* para a distinção entre pessoas e objetos [10]

5.6.1. Seleção e Implementação

O procedimento de seleção da localização e tamanho do dispositivo de segurança está descrita no fluxograma abaixo.

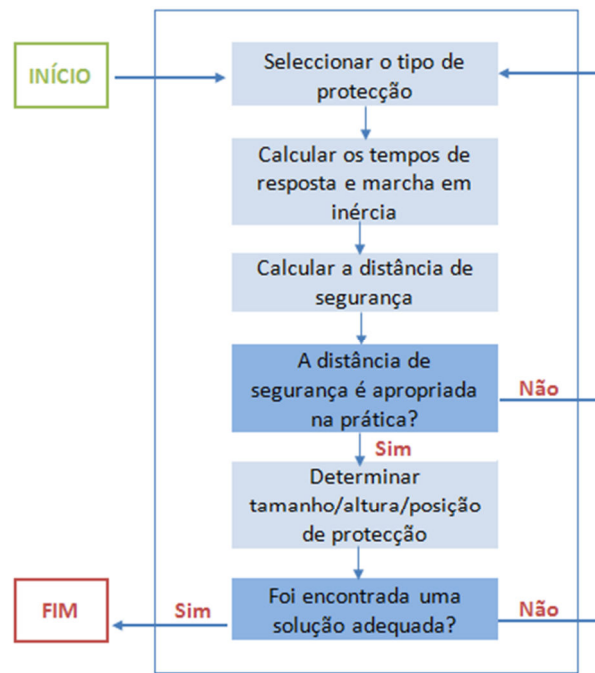


Figura 43 - Procedimento de seleção da localização e tamanho do dispositivo de protecção [adaptado de [10]]

5.6.1.1. Cálculo da distância de segurança

Depois de seleccionado o dispositivo de segurança é necessário calcular a distancia entre o campo de ação e a zona de perigo. O procedimento de cálculo é descrito pela norma EN ISO 13 855. Distinguem-se três situações:

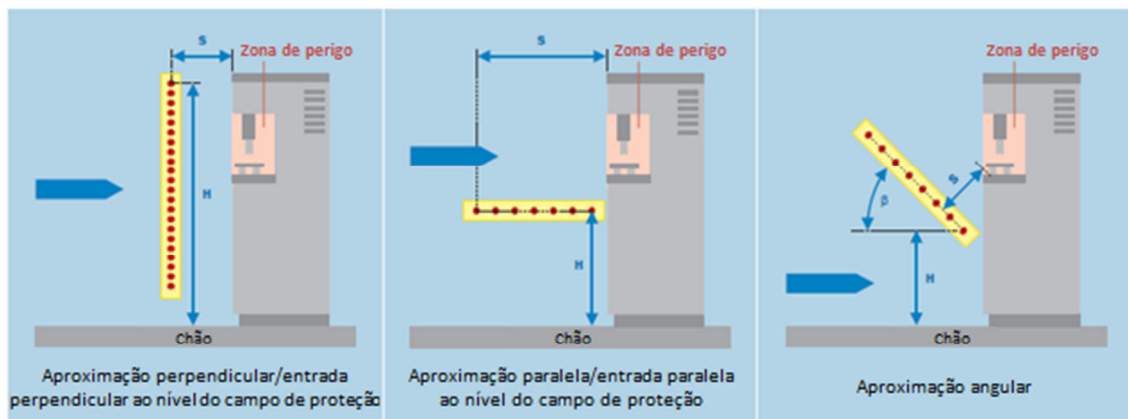


Figura 44 - Formas de aproximação às zonas de perigo [10]

A formula de calculo geral é dada por:

$$S = (K \times T) + C$$

Em que S é a distancia mínima [mm] entre a zona perigosa até ao dispositivo de segurança; K é um parâmetro [mm/s] da velocidade de aproximação do corpo ou de partes do corpo; T é o tempo [s] do movimento de inércia de todo o sistema; e C é a distância [mm] que é necessário penetrar na zona de perigo para que seja acionado o dispositivo de segurança.

Para as três situações apresentados acima tem-se a tabela seguinte:

Tabela 2 - Formulas de calculo para a distancia de segurança em função da aproximação ao campo de proteção
[adaptado de [10]]

Aproximação perpendicular			
$\beta = 90^\circ (\pm 5^\circ)$ $d \leq 40 \text{ mm}$	$S = 2000 \times T + 8 \times (d - 14)$ Se $S > 500 \text{ mm}$, usar: $S = 1600 \times T + 8 \times (d - 14)$. Neste caso S não deve ser < 500 .	A distância de segurança S não deve ser $< 100 \text{ mm}$.	
$40 < d \leq 70 \text{ mm}$	$S = 1600 \times T + 850$	Altura do feixe inferior $\leq 300 \text{ mm}$ Altura do feixe superior $\geq 900 \text{ mm}$	
$d > 70 \text{ mm}$		Número de feixes	Alturas recomendadas
Multifeixe	$S = 1600 \times T + 850$	4	300, 600, 900, 1200 mm
		3	300, 700, 1100 mm
		2	400, 900 mm
Monofeixe	$S = 1600 \times T + 1200$ Apenas se pode utilizar uma protecção monofeixe se a Avaliação de Riscos ou a Norma C o permitirem.	1	750 mm
Aproximação em paralelo			
$\beta = 0^\circ (\pm 5^\circ)$	$S = 1600 \times T + (1200 - 0,4 \times H)$ onde $(1200 - 0,4 \times H) > 850 \text{ mm}$		
Aproximação oblíqua			
$5^\circ < \beta < 85^\circ$	Com $\beta > 30^\circ$, como na aproximação em ângulo recto. Com $\beta > 30^\circ$, como na aproximação em paralelo. S aplica-se ao feixe mais distante, cuja altura é $\leq 1000 \text{ mm}$.	$d \leq \frac{H}{15} + 50$ aplica-se a feixe inferior.	

S: distância mínima

H: altura do campo de protecção (plano de deteção)

d: resolução do DPSC

β : ângulo entre o plano de deteção e a direcção de entrada

T: tempo de movimento em inércia de todo o sistema

5.6.2. Cálculo da altura do campo de protecção

Existem considerações a ter na montagem dos dispositivos de protecção que se relacionam com a forma como o acesso às zonas de perigo é permitido se a sua colocação for mal efetuada. Desta forma, só deve ser possível aceder à zona de perigo pela zona de protecção, não sendo permitido o acesso por cima, pelos lados ou por baixo da zona de protecção. Veja-se a figura seguinte:



Figura 45 - Acesso à zona de perigo em função da altura do dispositivo de segurança [10]

A tabela abaixo apresenta os valores de altura do campo de proteção, conforme a norma EN ISO 13 855.

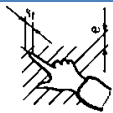
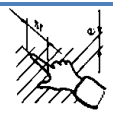
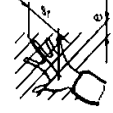
Tabela 3 - Tabela de seleção da altura do dispositivo de segurança [remete-se para a Figura 45 - Acesso à zona de perigo em função da altura do dispositivo de segurança]

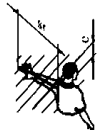
Altura a da zona de perigo (mm)	Distância horizontal c em relação à zona de perigo (mm)											
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Altura resultante b do bordo superior do campo de protecção (mm)												
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600

5.6.3. Determinação da resolução do dispositivo

A resolução do dispositivo de proteção entende-se como a distância entre os sucessivos feixes de luz que o constituem. Esta resolução é determinada em função do tipo de objeto ou tamanho do corpo ao qual se pretende negar a penetração na zona de perigo. Tendo como base o corpo, a tabela seguinte apresenta os valores de resolução:

Tabela 4 - Resolução do dispositivo de proteção [adaptado de [10]]

Parte do corpo	Abertura e (mm)	Distância de segurança (mm)		
		Ranhura	Quadrado	Círculo
Ponta do dedo	 $e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
	$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Do dedo ao pulso	 $6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
	$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
	$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
	$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
	 $20 < e \leq 30$	≥ 850	≥ 120	≥ 120

Do braço ao ombro		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

PARTE II – APLICAÇÃO DE UM CASO PRÁTICO

Na segunda parte desta dissertação faz-se a aplicação dos fundamentos apresentados na parte anterior com a apresentação de um caso prático de desenvolvimento de um sistema automatizado de produção.

Esta componente da dissertação foi elaborada em parceria com a empresa ITEC – Iberiana Technical sita em Frossos, Braga, pela realização de um estágio curricular. Desta colaboração resultou, e com interesse para a dissertação, o desenvolvimento de uma máquina e a implementação do processo de projeto mecânico na empresa.

6. Implementação do Projeto Mecânico

6.1. Enquadramento do Projeto Mecânico na ITEC

A ITEC recorria a subcontratação para realização do projeto mecânico dos seus equipamentos. Contudo, a exigência e competitividade do mercado tornou necessário que o projeto mecânico fosse feito internamente.

Desta forma, em primeiro lugar foi necessário tratar da sua implementação e integração com os restantes processos.

6.1.1. Processo de projeto da empresa

Segundo Asimov, o processo de projeto é constituído por oito fases cada qual com objetivos distintos, contudo nenhuma metodologia de projeto é universal e cada qual é função dos objetivos da empresa a que se aplica. Como tal, a ITEC adotou um processo de projeto próprio, o qual se apresenta de seguida:

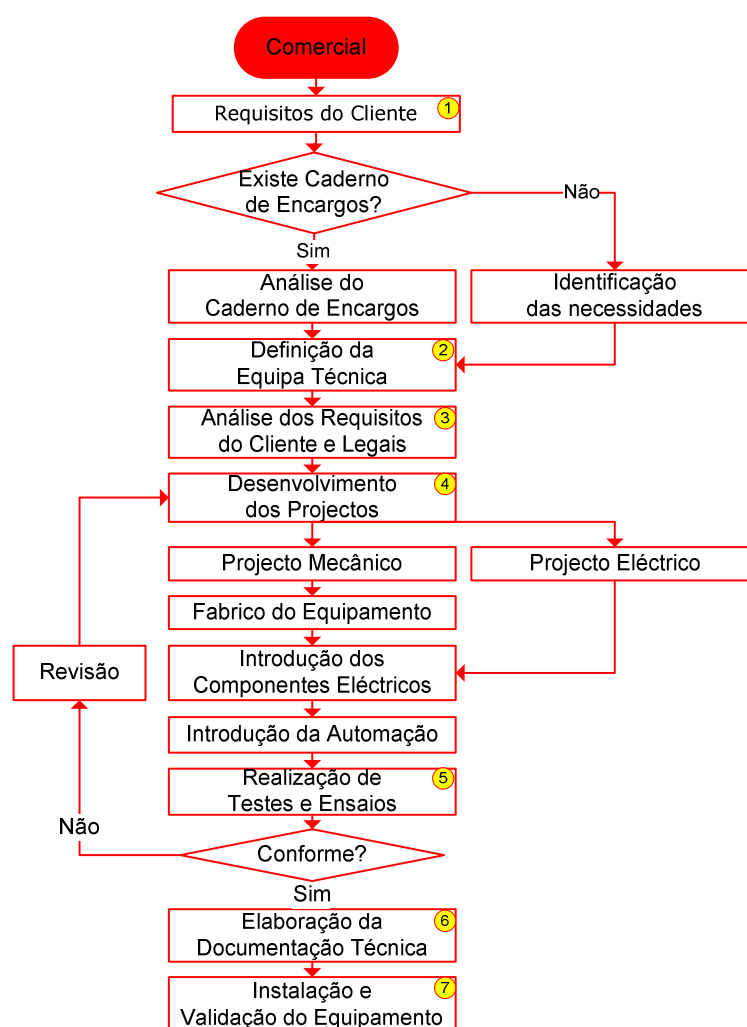


Figura 46 - Processo de Projecto implementado na empresa ITEC [Proveniente do Manual da Qualidade da ITEC]

O primeiro contacto é estabelecido pelo comercial da empresa, que comunica o interesse do potencial cliente.

Após adjudicação da proposta, o responsável pelo Dep. de Projetos analisa os Requisitos do Cliente que se encontram habitualmente especificados no Caderno de Encargos. Caso este documento não exista, o Dep. de Projetos procede ao levantamento das informações pertinentes.

De acordo com a especificidade do projeto e tendo em conta a competência dos recursos humanos da empresa o responsável pelo Dep. de Projetos define a Equipa de Trabalho.

O responsável pelo Dep. de Projetos analisa com a Equipa de Trabalho o projeto a desenvolver, tendo em conta os requisitos do cliente e legais, os prazos a cumprir, os documentos de referência e outras informações que considere pertinente. O responsável do Dep. de Projetos ainda verifica e decide os projetos (mecânicos ou elétricos) que são desenvolvidos internamente ou subcontratados externamente a parceiros estratégicos. Para garantir a conformidade dos projectões contratados externamente, a Equipa de Projeto acompanha periodicamente a evolução dos trabalhos junto desses parceiros. Aquando da receção dos equipamentos, um técnico procede à verificação da conformidade do mesmo, de acordo com um Plano de Inspeção de Serviços Subcontratados interno da empresa. Depois do equipamento se encontrar fabricado e com os componentes elétricos incorporados, a Equipa de Trabalho procede à introdução da automação. De seguida efetua os testes e ensaios de forma a avaliar se o projeto vai de encontro com os requisitos do cliente e legais. Caso se detete alguma anomalia procede-se a uma revisão do projeto, alteração do equipamento e/ou correção da automação. Por fim cria-se a documentação técnica que deve acompanhar o equipamento.

Depois do responsável pelo Dep. de Projetos considerar o Projeto conforme, este é instalado e validado pelo cliente dando-se o projeto como finalizado.

6.2. Implementação do Processo de Projeto Mecânico

Passando o projeto mecânico a ser desenvolvido internamente, foi necessário criar documentos e introduzir novos procedimentos no processo de projeto e foi ainda necessário criar um departamento de mecânica, constituído por duas pessoas: um engenheiro mecânico e um engenheiro eletrotécnico especialista em automação.

Após o contacto com o cliente, o comercial solicita a intervenção do departamento de mecânica. O problema do cliente é apresentado e esboça-se um desenho 2D ou 3D (conforme a complexidade

da solução) correspondente ao conceito previsto para solucionar o problema. Pretende-se com esse desenho cativar o cliente e elucidá-lo para as eventuais necessidades do projeto.

Sendo o projeto adjudicado realiza-se uma reunião do departamento de projeto da empresa. São objetivos desta reunião os seguintes:

- Apresentação do projeto à equipa;
- Estudo do caderno de encargos fornecido pelo cliente (quando existe);
 - Levantamento de informações a recolher adicionalmente;
- Definição de prazos limite;
- Determinação do responsável pelo projeto;
- Adjudicação e calendarização de tarefas;

Quando estão presentes as informações necessárias ao início do projeto mecânico, procede-se à tradução das necessidades do cliente em especificações do projeto. Nesta fase trata-se da determinação dos componentes de automação necessários, como: eixos elétricos, robôs, cilindros pneumáticos, sensores, sistemas de transporte, etc.. Note-se que, por vezes apenas é possível definir a família de produto que será utilizada, isto é, sabe-se que se vai utilizar um cilindro pneumático da família X, mas só com o desenvolvimento do desenho mecânico é que se poderá selecionar, dentro dessa família, o modelo Y. Geralmente, só conseguem ser definidos inicialmente robôs (SCARA, SPIDER, X-eixos, cartezianos, etc) ou eixos elétricos uma vez que se tratam de componentes principais e de valor elevado que comprometem o orçamento do projeto.

Tendo-se definidas as especificações do projeto parte-se para a realização do desenho mecânico.

Quando o desenho mecânico é finalizado é apresentado ao cliente para aprovação. Sendo aprovado procede-se à realização dos desenhos para fabrico e montagem.

6.2.1. Realização do “desenho mecânico”

Para realização do “desenho mecânico”, o engenheiro mecânico responsável procede à *renderização* da solução utilizando o *software Autodesk Inventor*⁴, resultando um modelo 3D virtual do equipamento. No decorrer deste processo, o engenheiro faz a seleção dos sensores e atuadores. Muitas vezes, e fruto da especificidade de determinados componentes, a seleção desses é feita em conjunto com outros elementos da equipa de projeto.

⁴ Autodesk Inventor é um programa desenvolvido pela Autodesk que permite modelar imagens a três dimensões. Os modelos 3D gerados são funcionais, ou seja, funcionam como no mundo real. Por exemplo, se o modelo for um motor, as peças que se movem no modelo real, também se movem no modelo 3D.

Uma abordagem à realização do desenho mecânico pode passar por, inicialmente, se colocar no ambiente de trabalho do *software* de CAD o(s) componente(s) que se pretende(m) usar. A este(s) acrescenta-se o elemento principal do equipamento que pode ser, por exemplo, o robô que vai fazer a manipulação desse componente e outros elementos principais que obrigatoriamente terão que cooperar com o anterior (um alimentador de peças, um *conveyor*, operador, etc). De seguida, define-se a trajetória de movimentos que será necessário realizar para se efetuar uma determinada operação que pode ser, por exemplo: pintura, doseamento de lubrificante, *pick & place*, etc..

Neste ponto já é possível projetar todos os componentes que são necessários ao funcionamento de todo o mecanismo como: garras, carros, sistemas de elevação, dispositivos de fixação, e outros mais específicos, como por exemplo estruturas, ou cabines de proteção.

É necessário compreender que neste tipo de projeto é impossível definir uma metodologia ou algoritmo de processo universal uma vez que cada projeto tem características próprias e por isso a abordagem poderá variar em função disso.

6.2.2. Documentação referente ao Projeto Mecânico

É fundamental que a documentação referente ao projeto mecânico esteja sempre acessível à medida que é criada e às partes interessadas.

Toda a documentação é armazenada num servidor (informático) e como tal definiu-se um modelo de pasta, o qual se apresenta de seguida:

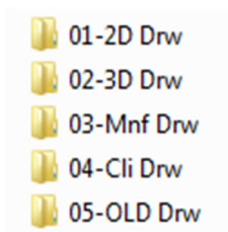


Figura 47 - Modelo de pasta do projeto mecânico

Na pasta *2D Drw* são colocados os desenhos técnicos, desenhos de conjunto de vista explodida, e na pasta *3D Drw* os desenhos tridimensionais e de conjunto. Na pasta *Mnf Drw* encontram-se os ficheiros que seguem para o fabrico. Por sua vez, a pasta *Cli Drw* contém os ficheiros que são enviados ao cliente 2D/3D e imagens para aprovação. A pasta *OLD Drw* existe para armazenamento do trabalho antigo.

6.2.2.1. Nomenclatura de ficheiros

É importante estabelecer uma nomenclatura para a identificação dos ficheiros presentes nas pastas anteriormente apresentadas. À exceção dos ficheiros da pasta *3D Drw* definiu-se uma regra para os restantes ficheiros. Assim tem-se:

- **Desenhos técnicos: BR000xxx.aaa.bb**

BR000xxx: refere-se ao número adjudicado ao projeto

aaa: refere-se ao número do desenho

bb: refere-se ao sub-número do desenho (caso existam subconjuntos de desenhos de conjunto)

- **Desenhos para fabrico: BR000.xxx.aaa.bb.Vc**

BR000xxx: refere-se ao número adjudicado ao projeto

aaa: refere-se ao número do desenho

bb: refere-se ao sub-número do desenho, caso existam subconjuntos de desenhos de conjunto

Vc: refere-se à versão do desenho

Os desenhos para fabrico são ficheiros *pdf* correspondentes aos desenhos técnicos. Estes desenhos são exportados para ficheiro *pdf* por duas razões: permitir que todos os elementos da equipa de projeto tenham acesso aos desenhos mesmo não tendo um visualizador de ficheiros *dwg* ou *idw* (ficheiros a que correspondem os desenhos 2D gerados pelo *Autodesk Inventor*) e manter um histórico das alterações realizadas nos desenhos, porque o *software*, apesar de permitir o registo dessas alterações diretamente na folha de desenho, não cria uma nova folha cada vez que é efetuada uma alteração (como é compreensível).

6.2.3. Desenhos técnicos

Os desenhos técnicos são realizados pelo engenheiro mecânico da equipa de projeto, validados pelo responsável pelo projeto e verificados pelo segundo elemento do departamento de mecânica.

6.2.3.1. Modelo de Legenda dos desenhos técnicos

Inicialmente era utilizado na ITEC o modelo de legenda ISO para desenhos técnicos, contudo tornou-se necessário incluir novos campos adaptados às necessidades da organização. A legenda geral, com inclusão de todos os campos apresenta-se de seguida (também se encontra no Anexo C):

Histórico de Revisões				Lista de Peças					
Rev.	Solic.	Descrição	Aprov.	Data	#	Componente	Qtd.	Desenho nº	Descrição
1				10-05-2012					


Desenhado por RC	Data 10-05-2012	Projecto						Cliente
Verificado por	Data	Componente						Desenho nº BR000xxx.aa
Aprovado por	Data	Material	Tratamento	Quantidade 0	Anexo STEP No		 itec assembling your success iberiana technical	
Aprov. Fabrico	Data	Projecto	Folha 1 / 1	Versão 0				

Figura 48 - Modelo de legenda dos desenhos técnicos com Lista de Peças e Histórico de Revisões

Este modelo inclui Legenda, Lista de Peças e Histórico de Revisões, sendo os dois últimos apenas aplicáveis em algumas situações.

A parte comum a todas as legendas é a apresentada na figura abaixo e descrita em seguida.


Desenhado por RC	Data 10-05-2012	Projecto				Cliente
Verificado por	Data	Componente				Desenho nº BR000xxx.aa
Aprovado por	Data	Material	Tratamento	Quantidade 0	Anexo STEP No	 itec assembling your success iberiana technical
Aprov. Fabrico	Data	Projecto	Folha 1 / 1	Versão 0		

Figura 49 - Modelo de legenda para desenho técnico

Esta legenda divide-se em quatro partes: identificação do desenho, características do componente, indicações referentes ao desenho e validação.

Identificação do desenho:

Projecto	Cliente
Componente	Desenho nº BR000xxx.aa

Figura 50 - Parte da legenda referente à identificação do desenho

- Cliente: nome do cliente do projeto;
- Projeto: numero mecanográfico adjudicado do projeto;

- Componente: designação do componente, igual ao nome do ficheiro correspondente ao modelo 3D;
- Desenho nº: número mecanográfico do desenho técnico, igual ao nome do ficheiro a que corresponde.

Características do componente:

Material	Tratamento	Quantidade 0	Anexo STEP No
----------	------------	-----------------	------------------

Figura 51 - Parte da legenda referente às características do componente

- Material: material a utilizar no fabrico do componente;
- Tratamento: tratamento a realizar ao material, se aplicável;
- Quantidade: quantidade de componentes a fabricar;
- Anexo STEP: indica se existe um desenho em formato STEP, que foi incluído para facilitar o fabrico ou para fabrico em CNC.

Indicações referentes ao desenho:


Projeção 	Folha 1 / 1	Versão 0	
---	----------------	-------------	--

Figura 52 - Parte da legenda referente ao desenho

- Projeção: indica o sentido da projeção das vistas do desenho;
- Folha: indica a folha atual e o número total de folhas do desenho;
- Versão: indica a versão do desenho.

Validação do desenho:

Desenhado por RC	Data 10-05-2012
Verificado por	Data
Aprovado por	Data
Aprov. Fabrico	Data

Figura 53 - Parte da legenda referente à identificação do autor e validação

- Desenhado por: nome de quem desenhou;
- Verificado por: nome de quem fez a verificação do desenho;
- Aprovado por: nome de quem fez a aprovação do desenho (responsável do projeto);
- Aprovação do Fabrico: nome do responsável pela execução do componente.

6.2.3.2. Lista de peças e histórico de revisões

Para além da legenda os desenhos de conjunto têm de incluir uma lista de peças. Esta lista é apresentada abaixo:

Lista de Peças				
#	Componente	Qtd	Desenho nº	Descrição

Figura 54 – Modelo de lista de peças

Os campos indicados são:

- #: número do componente;
- Componente: designação do componente, tal como indicado na legenda do respetivo desenho e nome do ficheiro 3D correspondente;
- Qtd: quantidade de componentes;
- Desenho nº: número mecanográfico do desenho técnico, tal como na legenda do respetivo desenho e nome desse ficheiro;
- Descrição: campo onde se pode incluir indicações adicionais referentes ao componente.

Por sua vez, o histórico de revisões é indicado na folha do desenho como indicado abaixo:

Histórico de Revisões				
Rev.	Solic.	Descrição	Aprov.	Data
1				10-05-2012

Figura 55 - Modelo de histórico de revisões

- Revisão: número da revisão;
- Solicitou: nome de quem solicitou a revisão;
- Descrição: descrição da alteração efetuada;
- Aprovação: nome de quem aprovou a revisão efetuada;
- Data: data de realização da alteração.

7. Apresentação do problema

7.1. Descrição geral do problema

A ITEC foi consultada por um cliente com a necessidade de automatizar um processo de produção. Existe a necessidade de automatizar o processo de colocação de parafusos de cabeça quadrada no molde de uma máquina de injeção de plástico. Para este projeto não foi fornecido caderno de encargos.

O processo manual é realizado por um operador e consiste na colocação de 4 conjuntos de 4 parafusos em orifícios existentes na parte fixa do molde da máquina de injeção, perfazendo um total de 16 parafusos por molde. Após a colocação dos parafusos, o molde fecha e é injetado plástico sobre a cabeça dos parafusos obtendo-se o produto final. O tempo de ciclo é de 30 segundos. O produto obtido, apresentado na figura seguinte, é um componente destinado à indústria automóvel, é aproximadamente quadrangular com aresta de cerca de 100 mm.



Figura 56 – Fotografia do produto final

A inspeção da correta realização do trabalho é feita sem o recurso a quaisquer tipo de tecnologia ou automatismo, faz-se apenas por meio do operador o que torna o processo vulnerável à ocorrência de erros e para além dos movimentos repetitivos, o operador sujeita-se também ao calor proveniente da máquina de injeção o que prejudica o seu desempenho e o processo produtivo.

7.2. Proposta preliminar de solução

Após contacto do cliente, o comercial entrou em contacto com o departamento de mecânica e fez-se um esboço preliminar de uma possível solução:

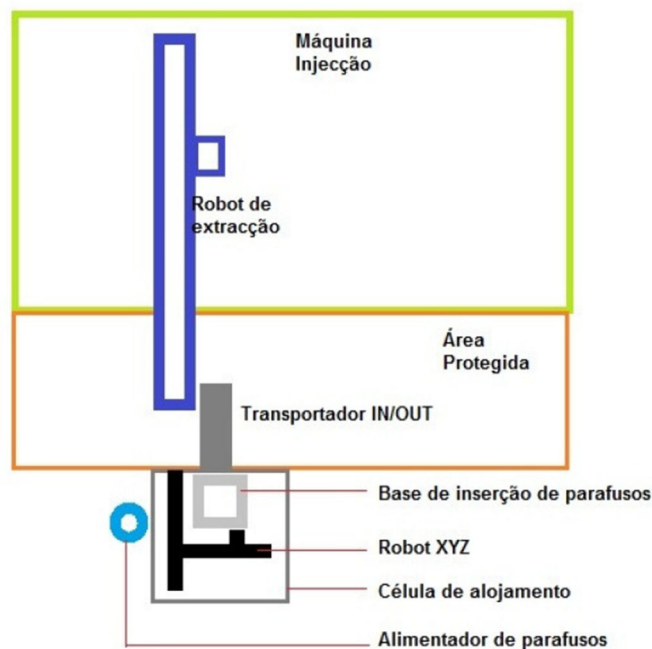


Figura 57 - Proposta preliminar da solução

Neste caso concreto não houve possibilidade para se realizar um esboço 3D da solução por falta de tempo.

A solução proposta assenta num robô cartesiano de 3 eixos com área de trabalho 300x300x100 mm, alojado numa célula de proteção. O robô deverá colocar os 16 parafusos numa base furada nas coordenadas especificadas pelo cliente.

Para o fornecimento de parafusos, o sistema será auxiliado por um alimentador vibratório e uma cabeça de alinhamento e inserção dos mesmos nas cavidades da base maquinada.

De modo a garantir maior flexibilidade e segurança da solução, existe um módulo de transporte das peças entre a etapa de inserção dos parafusos e a etapa de extração pelo robô da máquina de injeção.

De um modo geral, o equipamento inclui os itens abaixo:

- Um robô cartesiano de 3 eixos;
- Um alimentador automático de parafusos;
- Uma cabeça de orientação e inserção da peça;
- Uma base de receção dos parafusos;

- Um eixo elétrico para transporte da base;
- Quadro elétrico e autômato;
- Estrutura de acondicionamento e proteção em perfil de alumínio 45x45;

Esta proposta foi encaminhada para o cliente num documento apropriado. Neste documento apresenta-se também uma estimativa dos custos imputáveis ao projeto, respetivo preço final e prazo de entrega após adjudicação.

Note-se que é muito difícil estimar o custo total do equipamento sem se especificar a maioria dos componentes utilizados e o tempo necessário à realização do desenho 3D, eletrificação da máquina e programação do autômato. Contudo, tendo-se a experiência em projetos anteriores como uma mais-valia, é possível apontar valores muito próximos dos reais. Neste caso concreto, sabia-se já o valor aproximado de alguns dos componentes essenciais do projeto como o alimentador de parafusos, robô cartesiano e eixo elétrico, e outros que são comuns a muitos projetos e que pouco diferem de projeto para projeto como a estrutura de acondicionamento e o quadro elétrico, a maioria dos restantes componentes são peças maquinadas (logo com um custo calculável). Para além dos componentes foi necessário considerar o custo da mão-de-obra especializada homem/hora em projeto.

Num projeto que implicasse a utilização de componentes nunca antes utilizados seria necessária a sua especificação mais cuidada, de modo a não se atribuir um orçamento descabido e limitativo do desenvolvimento do projeto.

7.3. Adjudicação do projeto e definição de especificações

O projeto foi adjudicado tendo em conta a solução apresentada no ponto anterior. Desta forma, realizou-se uma reunião do departamento de projeto para apresentação do projeto à equipa, com base no documento apresentado ao cliente, definição e calendarização de tarefas. Relembre-se que para este projeto não foi fornecido caderno de encargos e, como tal, foi necessário fazer-se um levantamento de informações adicionais a recolher junto do cliente.

O nome do projeto é: Célula de Inserção Automática de Parafusos.

7.3.1. Definição das especificações do projeto

Recolhidas todas as informações necessárias ao desenrolar do projeto, definiram-se as especificações:

A máquina está em condições de funcionamento quando está acesa a luz verde. O ciclo de trabalho inicia-se pelo acionamento de uma botoneira de *Start*. Assim que seja detetada a presença da base de receção na área de trabalho, o robô inicia o processo de inserção dos 16 parafusos nas respetivas cavidades. No fim do ciclo de inserção, a base avança no transportador para a área de alcance do manipulador da máquina de injeção.

Depois de removidos os parafusos, a base regressa à zona de abastecimento e o ciclo repete-se. Sempre que a botoeira de emergência for acionada, liga-se a luz vermelha e o funcionamento pára. Para retomar o funcionamento é necessário desbloquear o botão de emergência e carregar no botão *Rearme*. A máquina volta à posição inicial e faz purga de parafusos no *nozzle*. Os Parafusos já colocados na base têm de ser retirados manualmente. O tempo de ciclo é de 30 segundos.

O sistema compreende a Diretiva Máquinas 2006/42/CE. Como tal está acondicionado por uma célula:

- Estrutura mecânica, tipo cabine, em perfil de alumínio 45x45;
- Cobertura em Policarbonato ESD;
- Relés PNOZ X2.8P;
- Fecho de segurança;
- Tampo em alumínio anodizado;
- Suporte para fixação do alimentador automático de parafusos;

O robô cartesiano é de dois eixos (XY) da *IAI* e do tipo *IK*, com uma área de trabalho 400 x 300 mm, e com um cilindro pneumático guiado da *SMC* do tipo *MXS* para realização dos movimentos em oZ, fixo no eixo da ferramenta.

O eixo elétrico para movimentação da base é também da *IAI*, do tipo *Slider* com 600 mm de curso.

O alimentador vibratório de parafusos é da *Böhlhoff* e terá um *uppertank* para incremento da capacidade de armazenamento.

A cabeça de orientação e inserção da peça é do tipo pinça.

O sistema deve colocar os parafusos nas seguintes posições, relativamente à base:

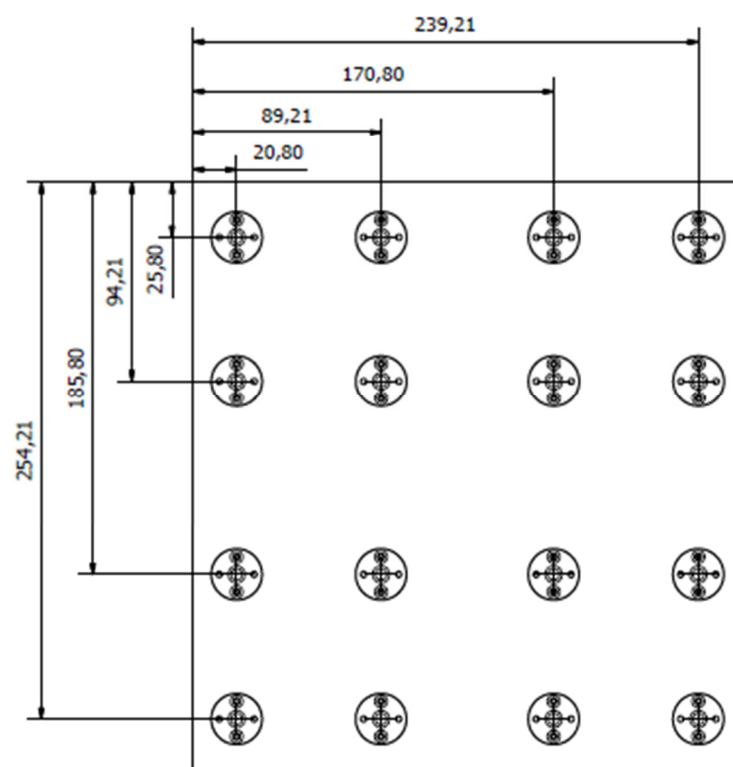


Figura 58 - Posições de inserção dos parafusos

8. Projeto mecânico do equipamento

Neste capítulo apresentam-se pormenorizadamente os componentes que constituem a máquina projetada: aqueles já existentes no mercado e que foram selecionados de catálogos e os que foi necessário projetar de raiz especificamente para a solução.

8.1. Apresentação do equipamento projetado

De forma a facilitar o entendimento do leitor, apresenta-se desde já o resultado final do Projeto Mecânico, fazendo-se também a identificação dos componentes. O resultado final apresenta-se sob a forma do projeto 3D - CAD elaborado em *Autodesk Inventor*, como se pode observar na figura seguinte:

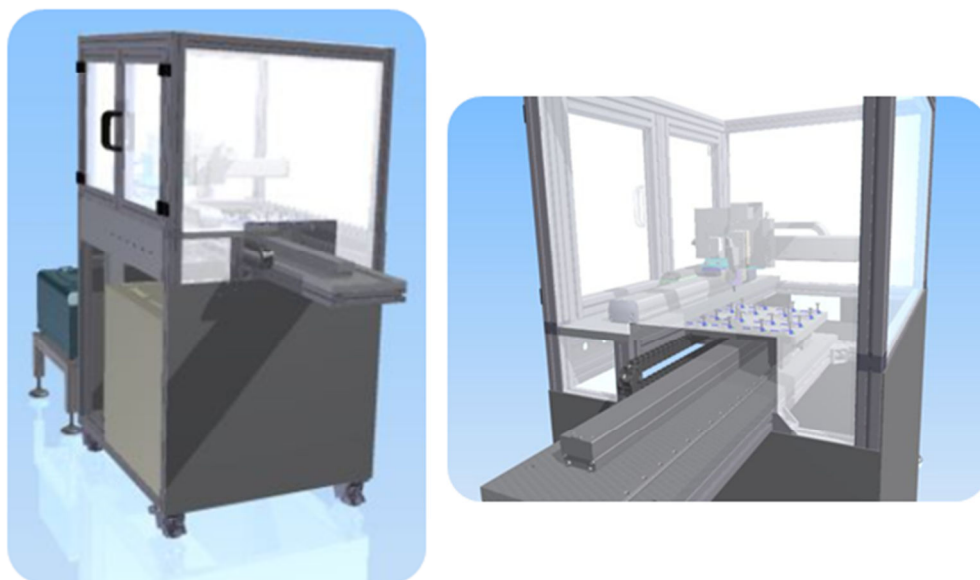


Figura 59 - Render da Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista]

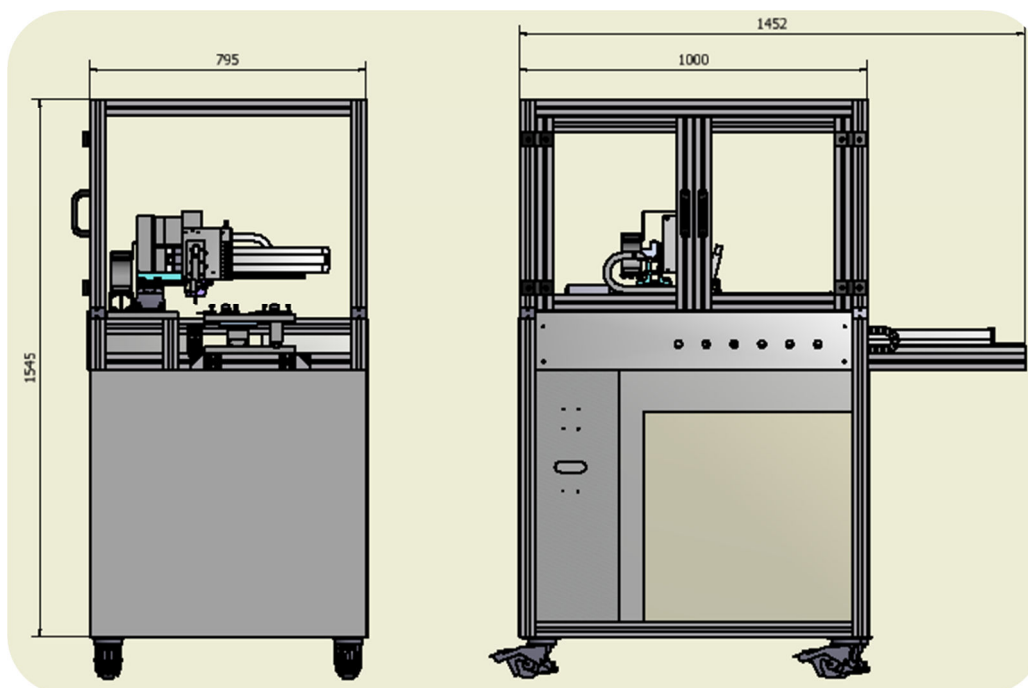


Figura 60 - Dimensões da Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista]

8.1.1. Identificação de componentes

A figura seguinte apresenta os macro componentes que constituem a Célula de Inserção Automática de Parafusos.

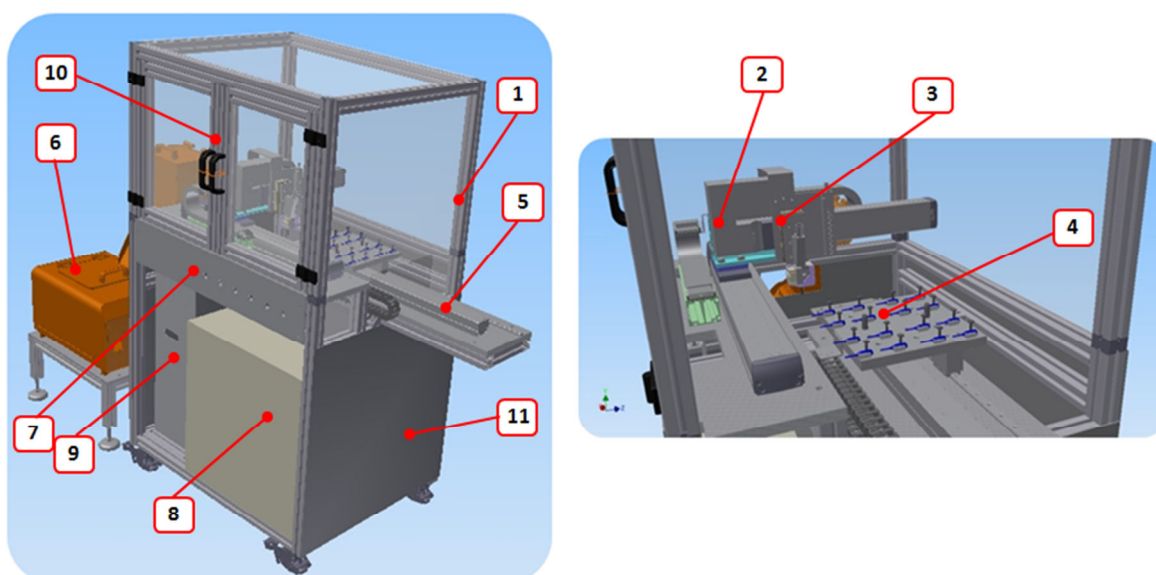


Figura 61 - Identificação dos componentes que constituem a Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista]

#	Legenda
1	Estrutura tipo cabine em perfil de alumínio
2	Robô cartesiano

3	Sistema de posicionamento dos parafusos
4	Base de receção dos parafusos
5	Eixo de transporte da base
6	Alimentador de Parafusos
7	Placa de botoneiras e luzes
8	Quadro elétrico
9	Placa para acessórios pneumáticos
10	Portas de acesso
11	Placas de proteção

8.2. Estrutura tipo Cabine em Perfil de Alumínio

A estrutura é a base da máquina. Sobre ela assentam todos os componentes que a constituem. No fabrico de máquinas deste tipo é muito usual a utilização de perfil de alumínio para a estrutura, obtendo-se soluções bastante rígidas e leves.

No mercado existem diversos fabricantes que oferecem uma vasta gama de tamanhos de perfil e uma infinidade de acessórios de montagem, fixação, manuseamento, transporte, elementos de segurança, entre outros. Em suma, um enorme leque de soluções que acabam por conferir ao projetista uma grande liberdade na conceção dos equipamentos.

A estrutura é fabricada como especificado em perfil de tamanho 45x45. Em função da experiência adquirida no desenvolvimento de estruturas deste tipo para outras máquinas, a equipa de projeto decidiu utilizar perfil *Bosch Rexroth*.

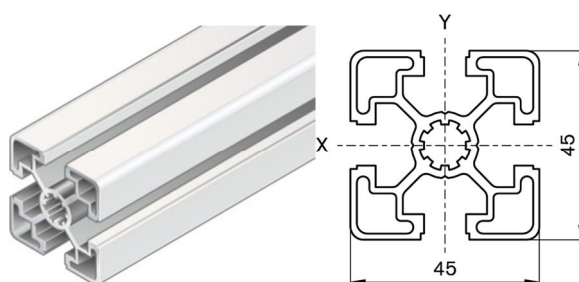


Figura 62 - Perfil 45x45L da Bosch Rexroth [imagem adaptada de [12]]

Tabela 5 - Características do perfil 45x45L – Bosch Rexroth

Fabricante	Bosch Rexroth
Referencia	3 842 511 702
Comprimento máximo	5600 mm por travessa de perfil
Densidade	1,50 kg/m

Material de construção	AlMgSi0,5F25
Acabamento superficial	Alumínio anodizado

A figura seguinte mostra a estrutura projetada.



Figura 63 - Estrutura tipo cabine para a Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista]

A estrutura divide-se em duas partes, uma superior e outra inferior. Na verdade a estrutura inferior é que suporta todos os esforços causados pelo peso e movimentação dos componentes utilizados na máquina; a estrutura superior tem a função de impedir o acesso direto ao interior da máquina. Para a ligação de componentes ao perfil e entre as travessas de perfil é necessária a utilização de acessórios. Para o caso em questão são necessários elementos de:

- Ligação entre a estrutura inferior e superior
- Ligação entre travessas de perfil
- Ligação das placas de Policarbonato ao perfil

- Ligação de placas de alumínio ou *Dibond*⁵ ao perfil

Para ligação entre as partes da estrutura é usado o acessório *End Connector 45x45* de referência 3 842 191 175. Cada parte do acessório liga a uma das extremidades do perfil através de um parafuso autoroscante e as partes são ligadas por meio de 4 parafusos. Esta solução é bastante prática pois permite que a estrutura possa ser separada nas partes superior e inferior sem que seja necessário desmontar outros componentes, facilitando o seu transporte ou acesso para substituição de componentes e manutenção.

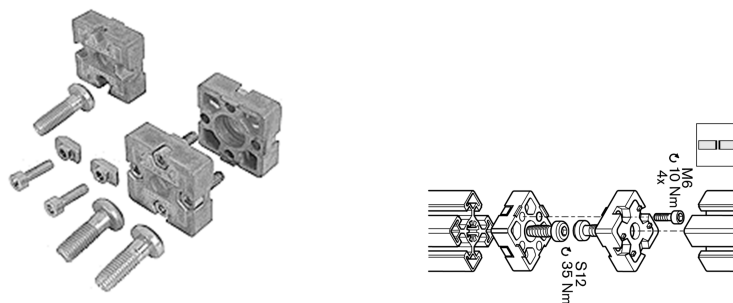


Figura 64 - Acessório End Connector [imagem adaptada de [12]]

Para ligação entre as travessas de perfil é utilizado um parafuso autoroscante M10. É sempre necessário que o perfil exterior seja furado de modo a permitir a passagem do parafuso. Noutros casos, em que poderia existir necessidade futura de alteração da posição, utilizou-se o acessório *Bracket 45x45* de referência 3 842 523 561.

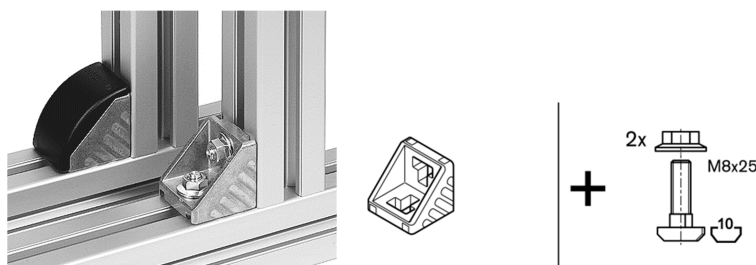


Figura 65 - Acessório Bracket 45x45 [imagem adaptada de [12]]

Para ligação das placas de Policarbonato ao perfil é usado o acessório *Variofix* de referência 3 842 529 239. O acessório é ligado diretamente à estrutura, sem necessidade de aparafusamento, e as placas de Policarbonato são aparafusadas ao acessório.

⁵ Dibond: é o nome comercial dado a um material compósito, constituído por duas folhas de alumínio separadas por um núcleo de polietileno.

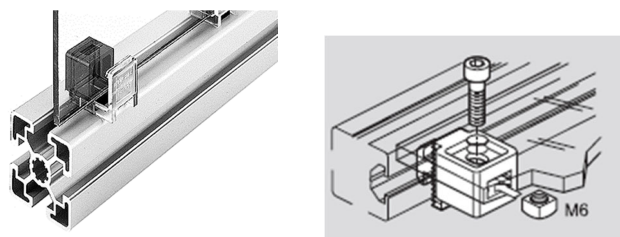


Figura 66 - Acessório Variofix [imagem adaptada de [12]]

Para a fixação de placas de alumínio (espessuras até 5mm) ou de *Dibond* ao perfil utiliza-se o acessório *T-nut M6* de referência 3 842 536 604. O acessório é colocado nas ranhuras do perfil e a placa é aparafusada com um parafuso M6, funcionando como uma porca.

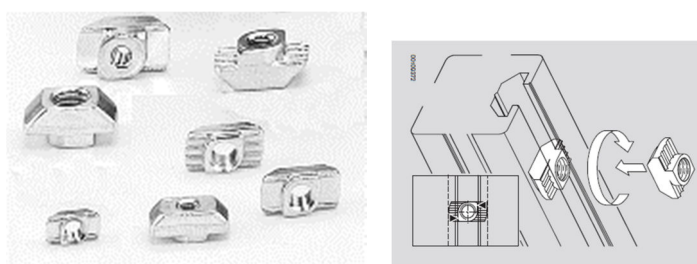


Figura 67 - Acessório T-nut M6 [imagem adaptada de [12]]

Nesta estrutura é incluída uma solução de mobilidade por utilização de rodas elevatórias – *Lifting Wheels* de referência 3 842 536 578. Estas rodas facilitam a movimentação da estrutura durante o transporte e instalação no cliente. Após a máquina ser colocada na posição de trabalho as rodas são levantadas e toda a estrutura fica assente sob pés niveladores. Atente-se na figura seguinte:

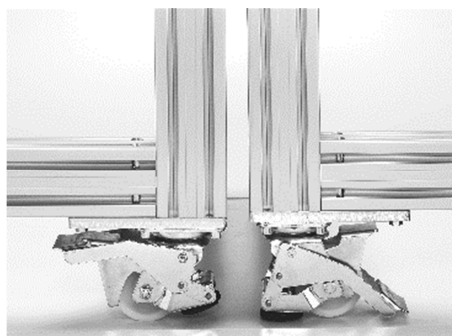


Figura 68 - Lifting Wheels [imagem adaptada de [12]]

É incluída também uma porta de acesso na lateral esquerda para utilização em situações de manutenção preventiva, ou desencravamento do módulo de receção de parafusos.

8.3. Robô cartesiano

Como já foi descrito, um robô cartesiano coloca os parafusos em posição para serem introduzidos na base de posicionamento. Para a realização desta operação requer-se precisão, múltiplas posições e tem-se um curto tempo de ciclo, pelo que rapidamente se coloca de parte a possibilidade de utilização de cilindros pneumáticos.

O posicionamento dos parafusos é feito nas posições já indicadas na Figura 58 - Posições de inserção dos parafusos

A utilização de eixos elétricos é apontada como a solução mais viável. Em projetos anteriores já se utilizou eixos elétricos pelo que a equipa de projeto esta já familiarizada com o equipamento em questão.

Usualmente são utilizados eixos IAI, que é um fabricante japonês de renome.

De forma a proceder-se à seleção do equipamento da IAI mais adequado solicita-se a colaboração do representante do fabricante em Portugal. Realizou-se uma reunião e definiu-se que seria viável optar por um eixo do tipo IK:

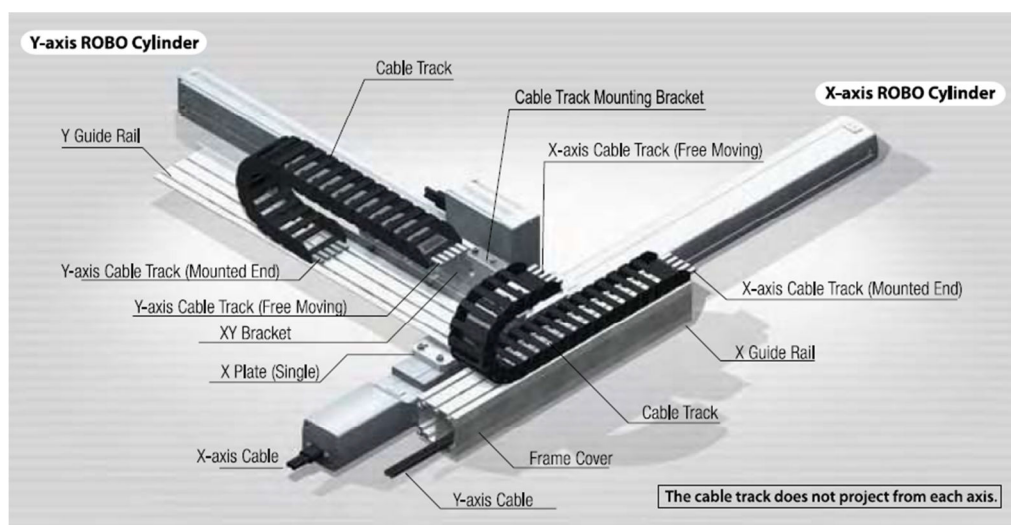


Figura 69 - Eixo do tipo IK da IAI [imagem proveniente do catalogo do fabricante [13]]

8.3.1. Eixos IK da IAI

As diferentes variantes de eixos IK disponibilizadas pelo fabricante diferem entre si pela carga suportada e velocidades de posicionamento.

Este tipo de eixo consiste na combinação de dois eixos independentes para a formação de um eixo cartesiano, podendo os eixos ser do tipo RPC2 ou RCS2:

Eixo do tipo RCP2:

- Utiliza motor de passo
- Alta precisão a baixa velocidade
- Mais barato que o eixo RCS2

Eixo do tipo RCS2:

- Utiliza servo motor
- Precisão constante independente da velocidade
- Permite velocidades superiores ao eixo RCP2

Externamente estes eixos são praticamente idênticos.

Pode-se ainda optar por duas variantes desses eixos: *Single-Slider* e *Double-Slider*, que diferem entre si na capacidade de carga que permitem.

Os eixos podem ser combinados de quatro formas distintas, em função da área de trabalho pretendida, e a dimensão dessa área de trabalho é função da dimensão dos eixos:

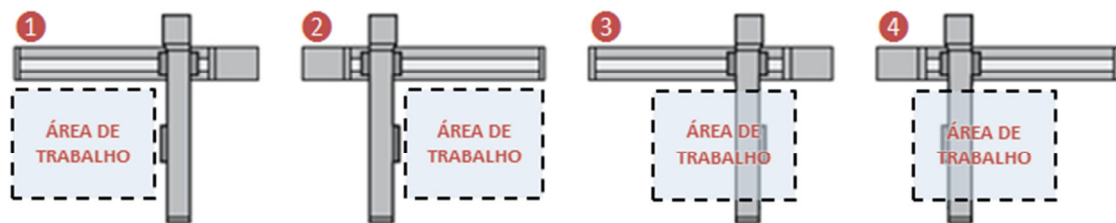


Figura 70 - Combinações dos eixos IK possíveis, em função da posição área de trabalho [imagem adaptada de [13]]

Para a máquina é selecionado um eixo IK2 PXBB2 HHS com as seguintes características:

- Eixo X: curso de 400 mm de alta velocidade – 250 mm/s
- Eixo Y: curso de 300 mm de alta velocidade – 450 mm/s
- Tipo de *Encoder*: incremental
- Repetibilidade: $\pm 0,02$ mm
- Combinação de eixos: Tipo 1
- Capacidade de carga do eixo oY: 6.0 kg
- Ambiente de funcionamento: 0 a 40° C, 85% HR ou inferior, sem condensação.

Note-se que a capacidade de carga é referente ao eixo oY porque, como se pode ver pela figura 63, é este eixo que suporta a ferramenta.

O eixo mais rápido é colocado na direção da maior distancia a percorrer:

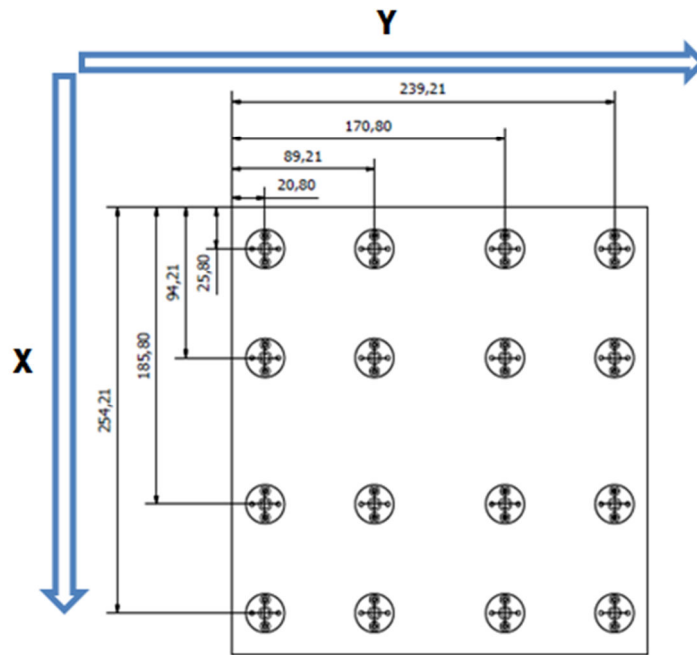


Figura 71 - Posição dos eixos relativamente às posições de trabalho [imagem de autoria do próprio]

8.3.2. Simulação do tempo de posicionamento

Realizou-se uma simulação do tempo de posicionamento dos parafusos nas posições definidas. O tempo de posicionamento do atuador é dado por uma equação (definida pelo fabricante). Dependendo da distância de deslocamento e da aceleração ou desaceleração aplicada, o posicionamento do eixo pode seguir um dos seguintes padrões:

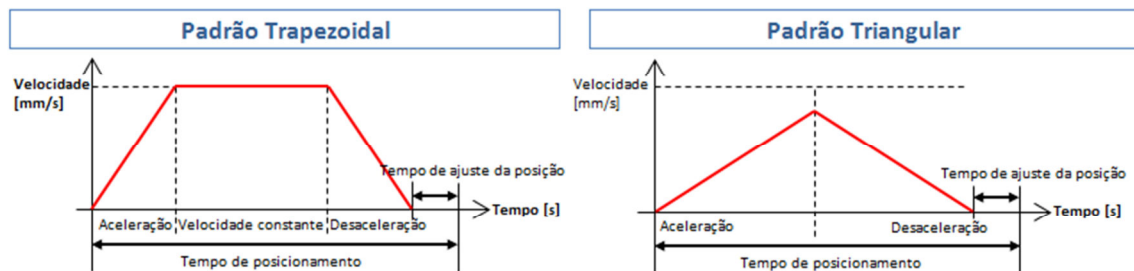


Figura 72 - Padrões de movimentação do eixo IAI [imagem de autoria do próprio]

Para determinação deste padrão é necessário relacionar a velocidade máxima com a velocidade *standard* de um dos eixos:

- Se $V_{max} > V$ o padrão é trapezoidal
- Se $V_{max} < V$ o padrão é triangular

E a velocidade máxima é dada por:

$$V_{max} = \sqrt{\text{Distância Percorrida} \times \text{Aceleração}}$$

Tome-se agora como referência as posições dadas pela figura seguinte, que representam as coordenadas dos pontos da Figura 58 - Posições de inserção dos parafusos:

		Y			
X		1,1	1,2		1,3 1,4
		2,1	2,2		2,3 2,4
		3,1	3,2		3,3 3,4
		4,1	4,2		4,3 4,4

Figura 73 - Esquemática das coordenadas de posicionamento do eixo IK2 [imagem de autoria do próprio]

Considerando, por exemplo, o ponto Y1:

- Deslocamento: 25,8 mm
- Velocidade do eixo Y: 450 mm/s
- Aceleração especificada: 0,3 G

$$\text{De acordo com a expressão anterior: } V_{max} = 275 \frac{mm}{s} < V$$

Logo, o padrão de movimento para o trabalho a realizar é Triangular.

Note-se que esta conclusão é válida considerando os deslocamentos incrementais, isto é, o eixo avança para uma posição e essa posição é a referência para o próximo movimento.

Para este padrão, o tempo de posicionamento é dado por:

$$T = 2 \cdot \sqrt{\frac{Disntacia [mm]}{Aceleração \left[\frac{mm}{s^2} \right]}} + Tempo de Ajuste [s]$$

Esta expressão não é afetada pela velocidade do eixo uma vez que para a mesma distância, mas com uma aceleração superior atinge-se o limite de aceleração do eixo e durante um certo período mantém-se a aceleração constante, tendo-se portanto a velocidade:

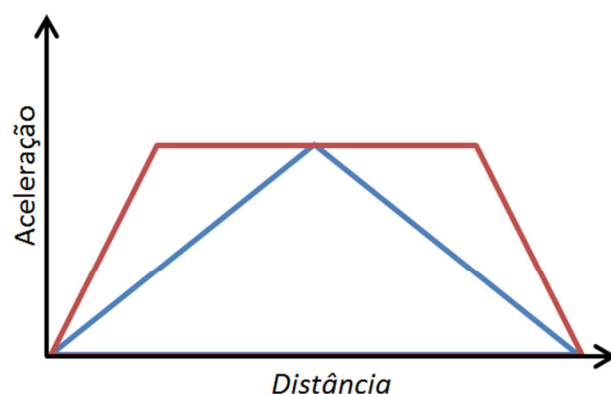


Figura 74 - Relação Aceleração/Distância [imagem de autoria do próprio]

Para determinação dos tempos de posicionamento basta considerar apenas um grupo de quatro posições incrementais, mais as duas posições imediatamente seguintes em X e Y, uma vez que as quatro posições de um mesmo grupo são equidistantes. Estas posições estão representadas na Figura 72 - Padrões de movimentação do eixo IAI [imagem de autoria do próprio] pelas células a sombreado azul.

Aplicando a expressão anterior, e considerando a figura referida tem-se:

- Para a posição Y1 e X1

Y1		X1	
Distância	20,8 mm	Distância	25,8 mm
Aceleração G	0,3 G	Aceleração G	0,3 G
Desaceleração G	0,3 G	Desaceleração G	0,3 G
Tempo de ajuste	0,15 s	Tempo de ajuste	0,15 s
Tempo de posicionamento total	0,32 s	Tempo de posicionamento total	0,34 s

- Para a posição Y2 e X2

Y2		X2	
Distância	68,41 mm	Distância	68,41 mm
Aceleração G	0,3 G	Aceleração G	0,3 G
Desaceleração G	0,3 G	Desaceleração G	0,3 G
Tempo de ajuste	0,15 s	Tempo de ajuste	0,15 s
Tempo de posicionamento total	0,45 s	Tempo de posicionamento total	0,45 s

- Para a posição X3 e Y3

Y3		X3	
Distância	81,59 mm	Distância	91,59 mm
Aceleração G	0,3 G	Aceleração G	0,3 G
Desaceleração G	0,3 G	Desaceleração G	0,3 G
Tempo de ajuste	0,15 s	Tempo de ajuste	0,15 s

Tempo de posicionamento total	0,48 s	Tempo de posicionamento total	0,50 s
--------------------------------------	---------------	--------------------------------------	---------------

Acrescido a estes tempos existe o tempo que leva cada parafuso a chegar do alimentador à pinça, que são 1,13 segundos. Deve-se ainda referir que o eixo IK parte da posição *home* (zero máquina) e avança apenas em oX na primeira posição que efetua.

Assim, conforme a sequência de posicionamento apresentado na Figura 75 - Percurso para posicionamento dos parafusos [imagem de autoria do próprio] tem-se o seguinte tempo:

$$0,45 + 0,48 + 0,45 + 0,45 + 0,45 + 0,48 + 0,45 + 0,5 + 0,45 + 0,48 + 0,45 + 0,45 + 0,45 + 0,48 + 0,45 + (1,2 \times 16) = 26,12 \text{ segundos}$$

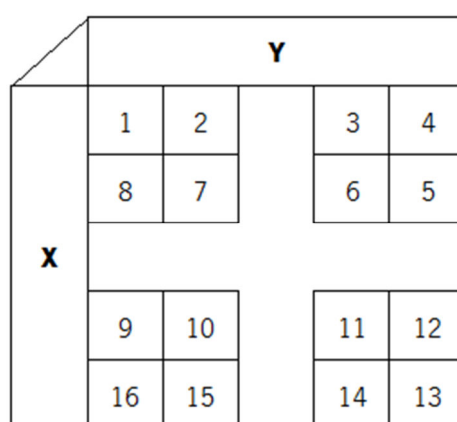


Figura 75 - Percurso para posicionamento dos parafusos [imagem de autoria do próprio]

O ciclo de posicionamento é efetuado em 26,12 segundos, a este valor acresce 1,4 segundos para posicionamento do eixo elétrico que faz o transporte da base, fazendo no total 27,52 segundos.

8.4. Sistema de posicionamento dos parafusos

O sistema de posicionamento dos parafusos consiste num dispositivo que recebe o parafuso, que é soprado do alimentador de parafusos, e depois trata de o colocar na posição predefinida.

O parafuso é fabricado num aço de construção convencional e tem as seguintes dimensões:

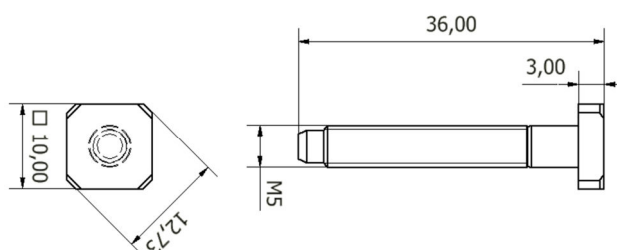


Figura 76 - Dimensões do parafuso [imagem gerada no software de CAD utilizado]

Numa primeira abordagem procurou-se fazer a adaptação de *nozzles* utilizados noutros projetos e que deram provas do seu bom funcionamento, contudo destinavam-se a parafusos de dimensões muito inferiores ao utilizado aqui. São exemplos:

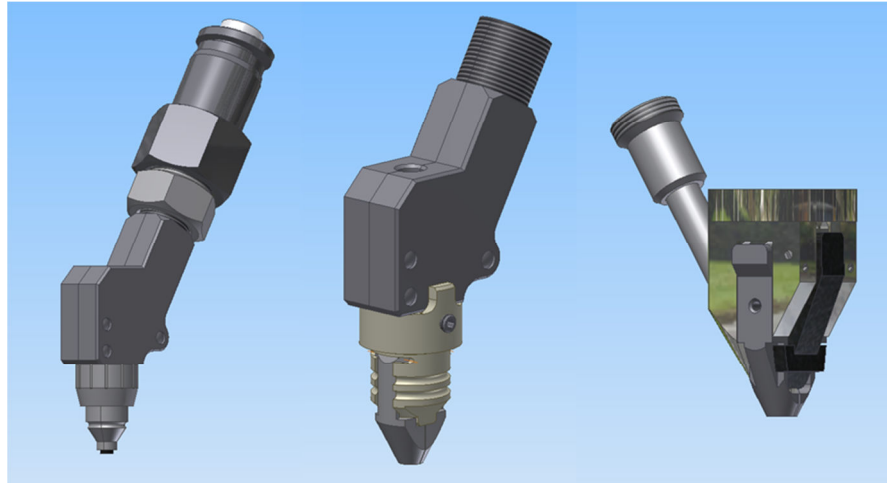


Figura 77 - Nozzles convencionais [imagem fotorealista]

O sistema projetado é constituído por um *nozzle* para receção dos parafusos, que se encontra fixado ao eixo Y do robô cartesiano, e um cilindro pneumático guiado para efetuar o deslocamento vertical. Por sua vez o *nozzle* é constituído por um conjunto de 6 peças: uma peça central que recebe o parafuso, duas pinças que abrindo permitem a passagem do parafuso, dois cilindros pneumáticos que atuam essas pinças, e um buçim para ligação do tubo que vem do alimentador de parafusos.

Veja-se a figura da página seguinte.

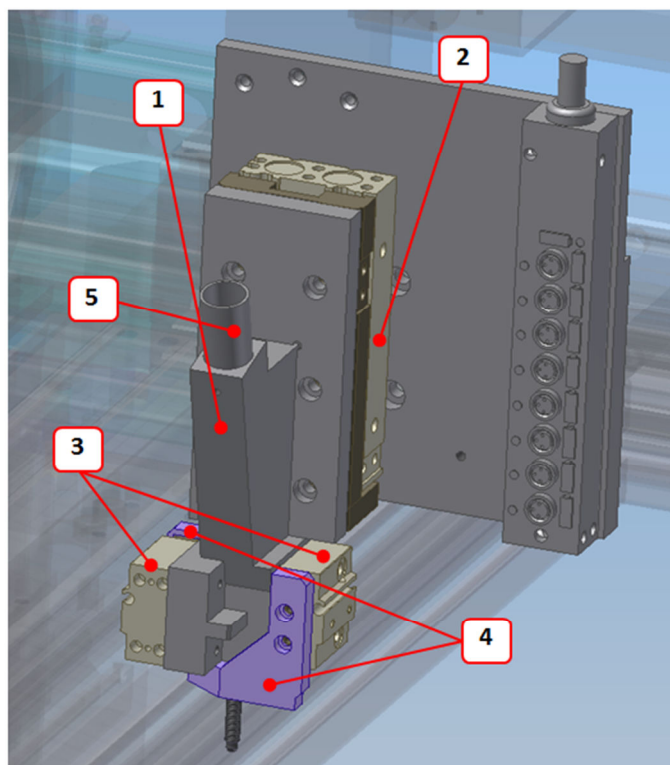


Figura 78 - Sistema de posicionamento dos parafusos [imagem fotorealista]

#	Legenda
1	Nozzle em Aço e Tratamento de Têmpera
2	Cilindro para movimento vertical (SMC MXS2-12L)
3	Cilindros para acionamento das pinças
4	Pinças em aço e Tratamento de Têmpera
5	Bucim em Aço Inox

8.4.1. Projeto do *Nozzle*

A maior dificuldade no projeto do *nozzle* está no comprimento do parafuso e a dimensão da sua cabeça. O parafuso é soprado a grande velocidade do alimentador de parafusos pelo que o *nozzle* o deve abrandar, isto obriga a que tenha no seu interior um canal, que não seja a direito, por onde o parafuso se desloque e que não possibilite a alteração da sua posição. A figura seguinte representa, em corte, o *nozzle* projetado:

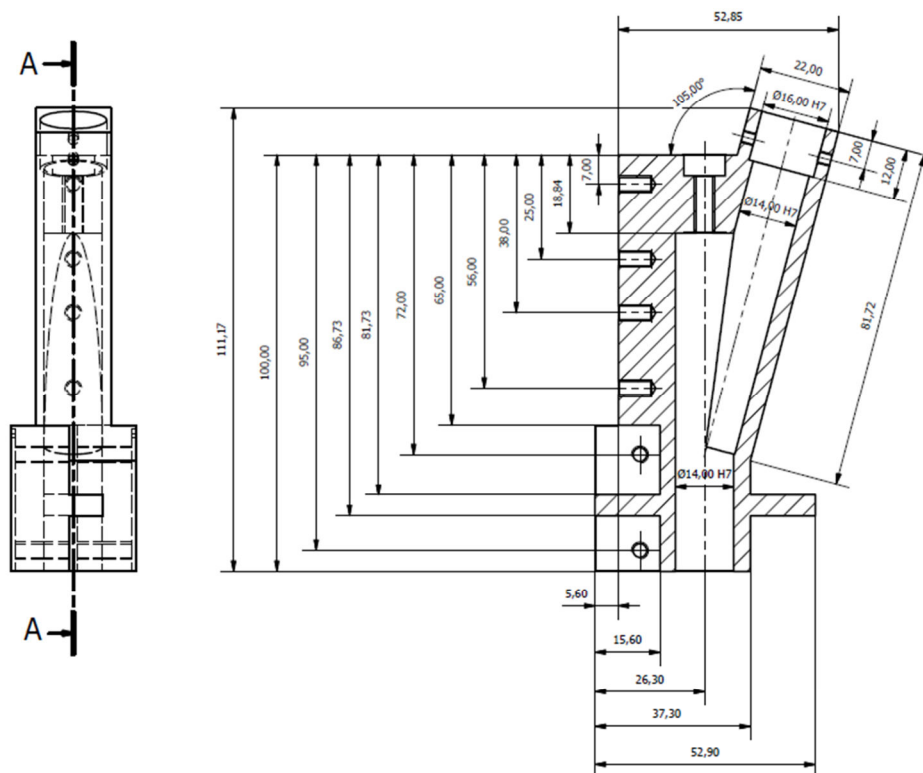


Figura 79 - Representação em corte do *nozzle* para recepção do parafuso [imagem gerada no software de CAD utilizado]

O ângulo de entrada do parafuso foi determinado através de uma simulação efetuada no *software* de CAD e posterior verificação física. Desta simulação concluiu-se que o ângulo de 105° , com a referência indicada na figura anterior, permitiria a entrada do parafuso sem possibilidade de encravamento e com abrandamento da velocidade.

Nos sistemas convencionais, após o *nozzle* receber o parafuso, um cilindro pneumático, atuando perpendicularmente ao plano de saída, empurra o parafuso contra as pinças, fazendo-as abrir e libertando o parafuso, como se ilustra na figura seguinte:

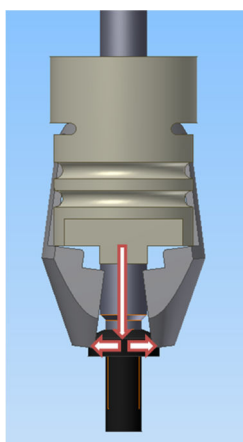


Figura 80 - Esquemática do funcionamento de um *nozzle* com sistema de pinça convencional [imagem fotorealista]

Neste caso o parafuso tem uma cabeça quadrada, contrariamente aos parafusos convencionais de cabeça redonda, pelo que, a adoção de um sistema convencional poderia levar a que o parafuso saísse torto ou que encravasse (num sistema convencional a pressão exercida sobre as pinças, que levam à sua abertura, é provocada pela base de secção circular do parafuso fazendo com que se consiga sempre uma abertura e um guiamento praticamente uniforme de ambas as pinças. É necessário idealizar numa solução que ao mesmo tempo liberte o parafuso e mantenha guiada a sua posição, sem o empurrar.

Pensou-se na aplicação de cilindros pneumáticos para atuar as pinças paralelamente, e obteve-se a solução seguinte:

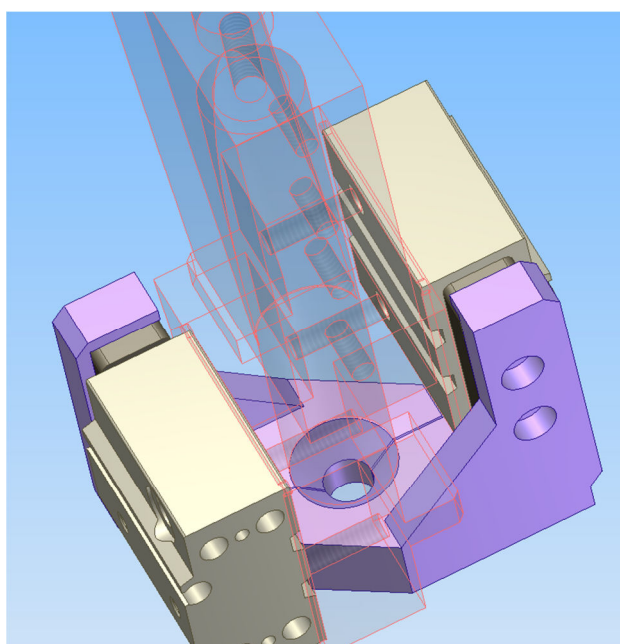


Figura 81 - Sistema de pinça pneumáticas [imagem fotorealista]

Os dois cilindros pneumáticos SMC, de referência MGJ10-7 (curso de 7mm), estão colocados em posições opostas. Quando atuados fazem abrir as pinças, criando-se um orifício circular com 14 mm de diâmetro, e o parafuso cai por gravidade. As pinças foram projetadas para que o parafuso se encontre apoiado pela cabeça enquanto aguarda para ser largado (ficando parte da espiga de fora da pinça) o que facilita a operação de posicionamento na base uma vez que se mantém o guiamento. A figura seguinte apresenta em detalhe o parafuso nas pinças:

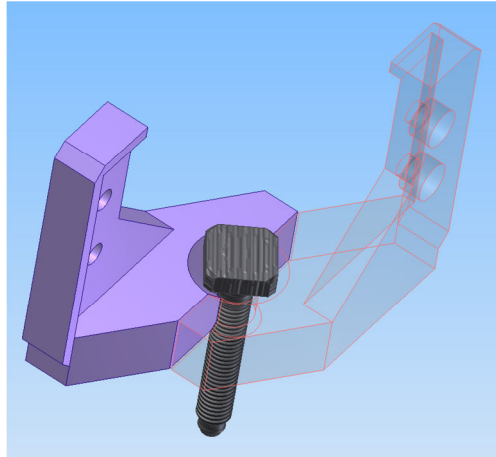


Figura 82 - Detalhe das pinças com o parafuso em posição para ser largado [imagem fotorealista]

8.5. Base de receção dos parafusos

A base tem a função de receber os parafusos provenientes do *nozzle*. Quando todos os 16 parafusos são posicionados, a base avança, por meio de um eixo elétrico, para a zona de trabalho do robô da máquina de injeção.

A base consiste num conjunto de 16 furos para receção dos parafusos (correspondentes às posições dadas pela Figura 58 - Posições de inserção dos parafusos), sensores para deteção da presença de parafusos, casquilhos em aço temperado onde os parafusos são colocados, e dois veios normalizados para guiamento ao acoplamento de uma garra do robô da máquina de injeção. A figura seguinte mostra a base de receção dos parafusos e os componentes do seu sistema de transporte:

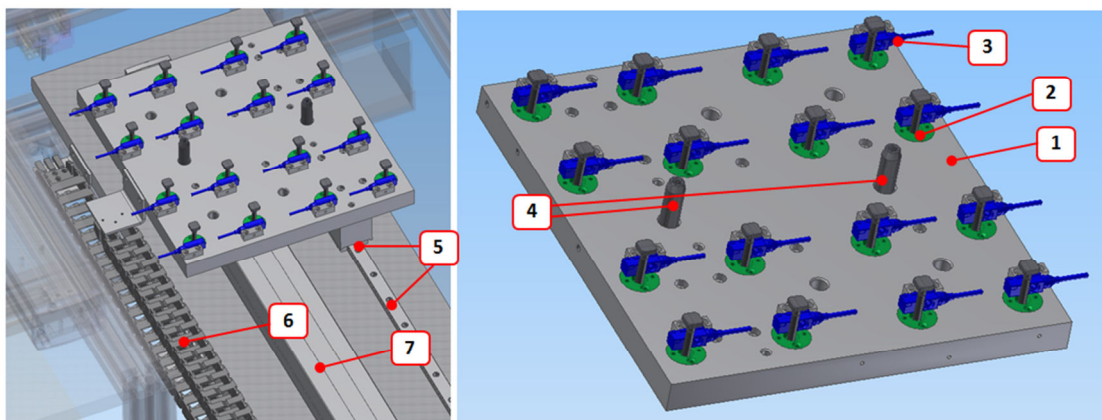


Figura 83 - Base de receção dos parafusos e respetivo sistema de transporte [imagem fotorealista]

#	Legenda
1	Base em liga de Alumínio Anodizado
2	Casquilho em liga de Aço Temperado
3	Sensor Schneider Electric XS7J1A1PAL01M8
4	Veio normalizado
5	Conjunto Guia + Patim Hiwin MGN15H
6	Calha articulada IGUS E08-30-028
7	Eixo IAI RCP3 SA6C-I-42P-12

8.5.1. Casquilhos da base

Sendo a base fabricada numa liga de alumínio espera-se um desgaste elevado das superfícies de contacto onde o parafuso é colocado. É conveniente que essas zonas tenham uma resistência ao desgaste superior à da restante base. A solução apontada para este problema foi a utilização de casquilhos em liga de aço temperado. O aço só por si já apresenta maior resistência ao desgaste que o alumínio, mas o facto de receber um tratamento de têmpera leva-o a um endurecimento ainda superior, conferindo aos casquilhos uma longevidade, no mínimo, igual ao tempo de vida útil da própria máquina. A figura seguinte apresenta o desenho em corte do casquilho:

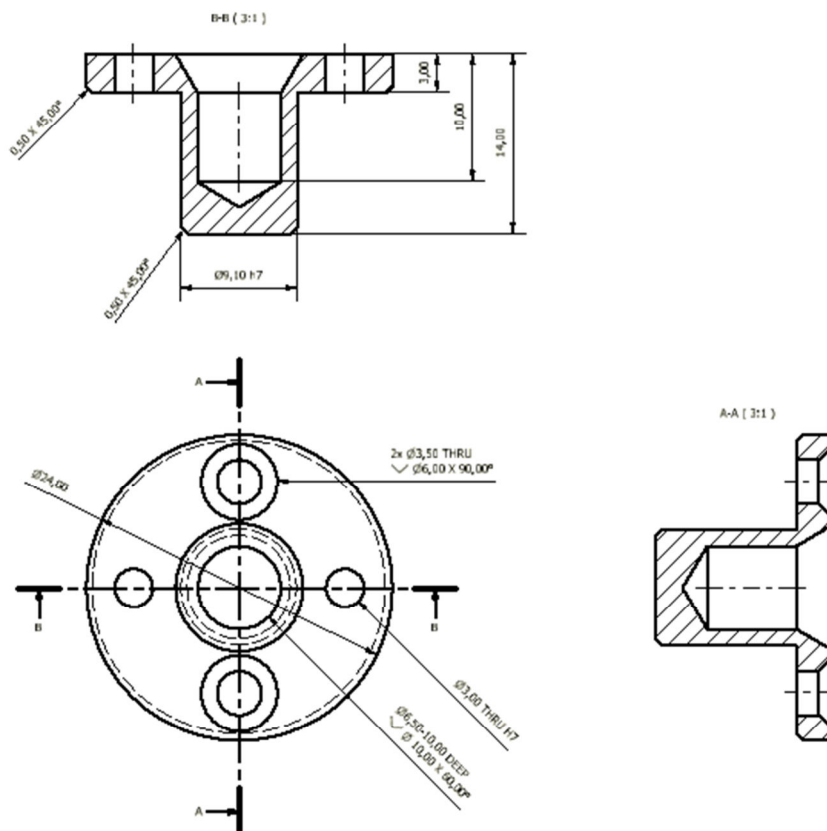


Figura 84 - Representação em corte do casquilho [imagem gerada no software de CAD utilizado]

O topo do casquilho é escareado de forma a facilitar a inserção, compensando eventuais desalinhamentos do parafuso. Com uma profundidade de 14 mm, quando posicionado, o parafuso fica fora do casquilho 22 mm, que é o suficiente para a garra do robô da máquina de injeção o alcançar.

8.5.2. Sensores para detecção do parafuso

Deve-se garantir a presença dos parafusos na base após estes terem sido posicionados, e a sua ausência quando estes são retirados pela garra. Esta condição garante que todos os parafusos são recolhidos da base. A garra contém sensores que detetam a presença dos parafusos, garantindo que se estes se perderem no percurso até à máquina de injeção a sua ausência seja notada (os sensores da garra garantem o posicionamento dos parafusos no molde da máquina de injeção pela ausência de sinal aquando ao momento em que são libertados). O conjunto destes sensores, na base e na garra, faz com que não haja necessidade de colocação de dispendiosos sensores no molde da máquina de injeção.

De entre o leque de sensores disponíveis, pode-se escolher um dos seguintes tipos:

- Sensores indutivos: usados para a detecção de materiais metálicos sem contacto. São insensíveis ao pó, vibrações e corrosão.



Figura 85 - Sensores do tipo indutivo [14]

- Sensores capacitivos: Sensores capacitivos: usados para a detecção de qualquer objeto sem contacto. São particularmente utilizados para detecção de materiais poliméricos, madeiras, etc.



Figura 86 - Sensores do tipo capacitivo [14]

- Sensores magnéticos: usados para a detecção de materiais magnetizáveis, com a particularidade de penetrarem os não magnetizáveis ignorando a sua presença.



Figura 87 - Sensor do tipo magnético [14]

- Sensores fotoelétricos: usados para a detecção de quase qualquer tipo de materiais, por reflexão de um feixe de luz que é emitido pelo sensor. Este tipo de sensores destaca-se dos restantes pelo maior alcance de detecção.



Figura 88 - Sensor do tipo fotoelétrico [14]

Destes seleccionou-se um sensor do tipo indutivo da *Schneider Electric*, de referência XS7J1A1PAL01M8, com base nos seguintes motivos:

- Permite a detecção de material metálico;
- Tem uma relação qualidade/preço competitiva face aos restantes tipos de sensores;
- Tem dimensões compactas e alcance de 0.1 a 1.5 mm;
- Não é possível utilizar sensores do tipo magnético porque o parafuso não é magnetizável;
- Não se utilizaram sensores do tipo fotoelétrico uma vez que poeiras provenientes do ambiente circundante à máquina poderiam induzir em erro o sistema;
- Os sensores capacitivos têm um preço de compra muito elevado, não se enquadrando no orçamento do projeto;

O resultado final é o apresentado na figura a seguir:



Figura 89 - Sensor do tipo indutivo para deteção dos parafusos na base [foto da fase de construção]

8.5.3. Sistema de transporte da base

O sistema de transporte da base é constituído por um eixo elétrico *IAI* com 600 mm de curso e dois patins *Hiwin* e respetiva guia com 900 mm. Para transporte da cablagem dos sensores inclui-se uma calha articulada *IGUS*, que liga diretamente na base e é solidária com esta.

Entre a base e o topo do eixo existe uma placa intermédia. Esta placa existe para, caso se pretenda, trocar a base de receção de parafusos por outro tipo de base sem que seja necessário mexer no eixo.

O processo de seleção do eixo, a partir do catálogo do fabricante, é feito da seguinte forma:

Em primeiro lugar deve-se definir o ambiente em que o eixo irá funcionar, podendo-se ter:

- Ambiente normal com condições de temperatura ambiente amenas e humidade relativa do ar normais;
- Ambiente de sala limpa
- Ambiente sujo, com poeiras, salpicos de água, etc.

Em função do ambiente são indicados os eixos compatíveis. A seleção do tipo de eixo é depois feita em função do movimento que vai executar em serviço. Para a aplicação, tem-se um movimento horizontal com um deslocamento de 600mm.

Assim, de acordo com o catálogo, o eixo mais indicado é do género *Slider Type*. Dentro deste género têm-se vários modelos que diferem entre si pelo tipo de motor (motor de passo/ servo motor), pelo material da base (liga de alumínio/ liga de aço), e pela posição do motor (motor em linha/ motor paralelo com caixa de transmissão).

O eixo selecionado foi o RCP3 SA6C-I-42P-12:

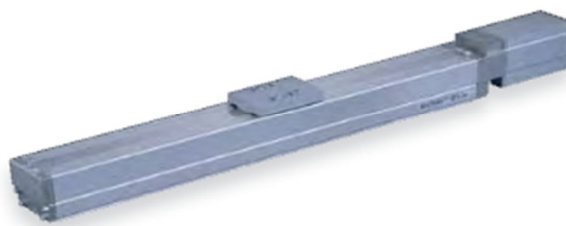


Figura 90 - Eixo IAI RCP3 SA6C-I-42-P-12 [15]

As características deste eixo são as seguintes:

- Curso: 600 mm
- Motor: motor de passo
- Material da base: liga de alumínio
- Tipo de *Encoder*: incremental
- Repetibilidade: $\pm 0,02$ mm
- Capacidade de carga: 6.0 kg
- Velocidade máxima 700 mm/s
- Ambiente de funcionamento: 0 a 40° C, 85% HR ou inferior, sem condensação

8.6. Alimentador de parafusos

A alimentação de parafusos é feita por um sistema automatizado da *Böllhoff*. A figura seguinte apresenta o alimentador automático de parafusos com uma unidade para aumento do volume dos parafusos armazenados, e, em detalhe, o interior do alimentador:

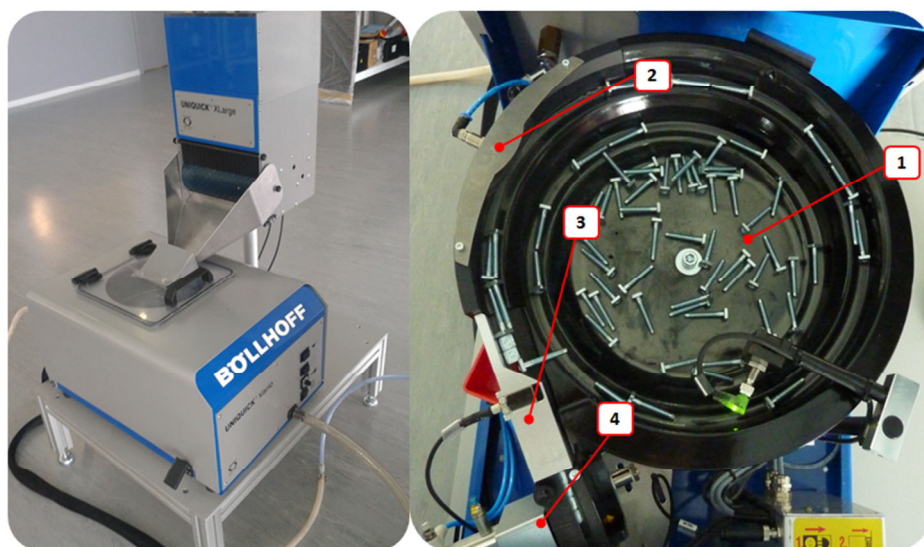


Figura 91 - Conjunto do alimentador automático de parafusos Böllhoff Uniquick Feeder 340 e detalhe do interior do alimentador [fotos do equipamento]

#	Legenda
1	Pote de triagem
2	Placa deflectora
3	Unidade de separação e alinhamento
4	Unidade de isolamento e alimentação

Neste sistema os parafusos passam no interior da placa deflectora, pela vibração do pote de triagem, e são encaminhados para a unidade de separação e alinhamento. Posteriormente, um parafuso de cada vez, é separado e segue (sendo empurrado por outro parafuso que já se encontra na unidade de separação e alinhamento imediatamente atrás) para a unidade de isolamento e daí para a zona onde é soprado. A fim de se evitar o atolamento de parafusos, existe na unidade de separação um sensor indutivo que detetando a passagem dos parafusos, após uma determinada quantidade, ativa a placa deflectora impedindo que mais parafusos sigam caminho, regulando o “caudal” de alimentação.

A efetivação da passagem dos parafusos pelo tubo ao encontro do *nozzle* é controlada por um sensor *Böhlhoff* IS05507 colocado diretamente no tubo, como mostra a figura seguinte (a azul claro):



Figura 92 - Detalhe do sensor de controlo da passagem do parafuso [foto do equipamento]

8.7. Interface Homem-Máquina

Sendo este um sistema automatizado em que não é necessário um operador para comandar a máquina, apenas é necessário incluir um conjunto de luzes de aviso e botoneiras para comandos básicos de início e fim de ciclo e emergência.

Como tal coloca-se um painel de interface propositadamente do lado contrário ao da máquina de injeção de plástico (por razões óbvias).

Veja-se a figura seguinte:



Figura 93- Placa de botoneiras e luzes avisadoras [foto da máquina]

Na parte lateral, da esquerda para a direita, tem-se:

- Comutador com Chave: liga o tanque de aumento de capacidade do alimentador de parafusos;
- Botão de Emergência do tipo “cogumelo”;
- Botão preto – Rearme: dá início ao funcionamento da máquina, após paragem por bloqueio de emergência ou abertura da porta;
- Luz vermelha – Emergência: indica que existe uma situação de emergência ou funcionamento incorreto;
- Botão verde – Start: inicia o ciclo e indica que a máquina está ligada

O início do ciclo de trabalho dá-se premindo o botão *Start*. O botão de emergência pára instantaneamente o funcionamento da máquina. Quando este botão é ativado, ou quando é interrompido o sinal do sensor de segurança das portas, é necessário premir o botão *Rearme* e só depois se pode premir o *Start*.

No topo da máquina encontra-se ainda um pirilampo que permite monitorizar o estado da máquina à distância. A luz vermelha tem o mesmo significado que aquela colocada junto às botoneiras e a luz amarela indica que o alimentador de parafusos está vazio).

Em baixo, no quadro elétrico, existe ainda um comutador para corte geral de energia e ligações para computador (para configuração do PLC).

Ao lado do quadro elétrico existe o quadro com os componentes pneumáticos para controlo dos vários componentes da máquina atuados por ar comprimido. Veja-se próxima figura.

Inicialmente pensou-se em colocar uma placa do alumínio e fixar a ela esses componentes (como mostra na Figura 61 - Identificação dos componentes que constituem a Célula de Inserção Automática de Parafusos [imagem fotorealista] o número 9), contudo viu-se que seria mais prático e organizado optar pela solução utilizada.



Figura 94 - Dispositivos de interface Homem-Máquina [foto da máquina]

8.8. Dispositivos de Proteção e Segurança

Como já abordado neste trabalho, é fundamental dar especial atenção aos elementos de segurança da máquina, tal como exige a legislação em vigor.

Não carecendo a máquina da presença constante de um operador descartou-se a necessidade de utilização de cortinas de luz. A proteção contra a intrusão na zona de trabalho (zona de trabalho da máquina de injeção e da Célula de Inserção Automática de Parafusos) é garantida por meio de uma gaiola de segurança colocada em volta de toda essa área. Essa gaiola conta com uma porta de acesso cuja abertura faz parar o funcionamento da máquina. O projeto desta gaiola ficou a cargo do cliente.

Contudo, há necessidade de proteger convenientemente toda a máquina e identificar as zonas de perigo, considerando-se a situação do seu funcionamento para manutenção ou outras quaisquer onde haja presença de um operador. Assim, toda a zona superior da máquina é tapada com

policarbonato, ficando apenas em aberto a área necessária à passagem da base do sistema transportador. O policarbonato fornece uma proteção física e permite visualizar o funcionamento da máquina. A zona inferior encontra-se completamente tapada por *Dibond*.



Figura 95 - Equipamento protegido com policarbonato e Dibond [foto da máquina]

Nas portas de acesso foi colocado um conjunto de sensores da *Telemecanique*, de referência XCS-ZC7902, para deteção da abertura, que provoca a paragem da máquina. Para além disto, foram ainda identificados, como deve ser feito, todos os perigos residuais que não foi possível minimizar pela utilização de dispositivos de proteção. A figura seguinte mostra os sinais de aviso colocados e, em detalhe, o sensor da porta.



Figura 96 - Sinais de aviso e detalhe do sensor das portas [fotos da máquina ainda na fase de construção]

Como é necessário, foi ainda incluída uma botoneira de Emergência, já apresentada na Figura 93- Placa de botoneiras e luzes avisadoras [foto da máquina].

8.9. Resultado final

O projeto culminou com a obtenção do equipamento tal como apresentado abaixo:



Figura 97 - Célula de Inserção Automática de Parafusos [fotos da máquina pronta]

Em detalhe, veja-se o *nozzle* de receção de parafusos:

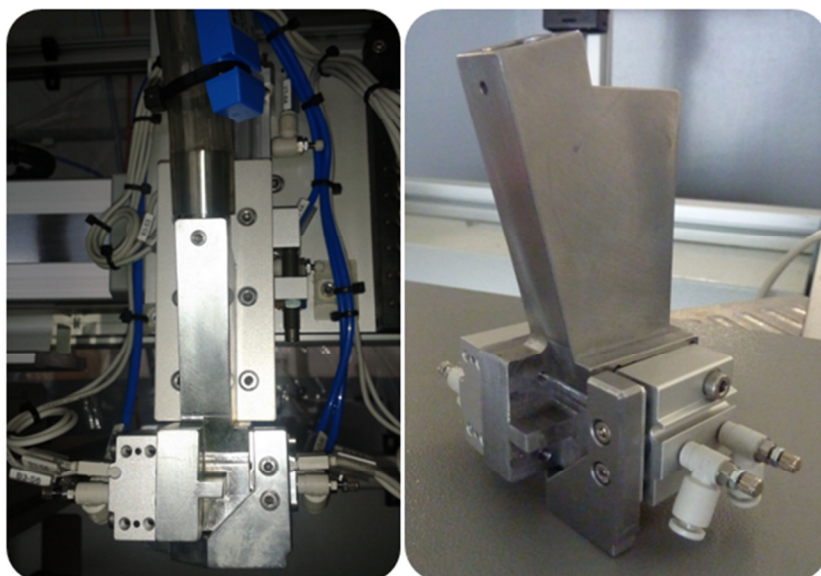


Figura 98 - Detalhe do *Nozzle* [fotos da máquina]

Para além dos componentes apresentados, foi necessário criar outros componentes cuja descrição pormenorizada não se considerou relevante incluir neste trabalho. Esses componentes são o tampo em liga de alumínio que serve de apoio ao eixo elétrico do sistema de transporte da base, elementos em liga de alumínio para ligação entre os patins e a base, cantoneiras em liga de alumínio para fixação da calha porta cabos, chapa de alumínio quinada para passagem de cablagem do robô cartesiano e outras placas de liga de alumínio que servem de elemento de ligação no conjunto do *nozzle*, entre outros pequenos elementos de menor relevância.

8.10. Problemas de projeto e pontos de melhoria

O ambiente virtual em que se insere o *software* de CAD levou a que se cometessem erros inadvertidamente.

O *nozzle* de receção do parafuso revelou-se difícil de fabricar. No geral, este é um componente complexo, que requereu várias horas de trabalho e o fabrico de *jigs* para a sua fixação durante a maquinagem. As duas “orelhas” nas laterais opostas aos cilindros podiam ter sido eliminadas, foram colocadas no sentido de conferir robustez ao componente, mas revelaram-se como características de sobredimensionamento. Este foi um reparo feito pela oficina subcontratada para o fabrico dos componentes.

Na base de posicionamento dos parafusos foi necessário executar um retrabalho para vazamento das caixas onde encaixam os casquilhos. As caixas iniciais não vazavam todo o material da base o que, após a colocação dos casquilhos, tornava difícil ou quase impossível a sua remoção.

O casquilho projetado para receber o parafuso tinha um diâmetro interno maior do que o necessário para alojar o parafuso. Como tal, o parafuso, após ter sido colocado em posição, não ficava perpendicular ao plano normal da base, mas sim ligeiramente inclinado. Esta situação poderia originar problemas na extração dos parafusos pelo robô da máquina de injeção de plástico, pelo que o diâmetro dos casquilhos foi reduzido para 5,3 mm. Com esta alteração procedeu-se a outras modificações nos casquilhos. Em vez de tapados, os casquilhos passaram a ser vazados de forma a evitar a acumulação de poeiras no fundo, sendo o diâmetro interior mínimo igual ao diâmetro mínimo do final da espiga do parafuso. Na flange foram eliminados os dois furos que se destinavam à colocação de cavilhas, que se revelaram inúteis.

Os sensores de deteção dos parafusos da base deveriam estar protegidos contra eventuais quedas de objetos (cada sensor custa cerca de 40€) O cliente exigiu a colocação de uma proteção sobre eles:

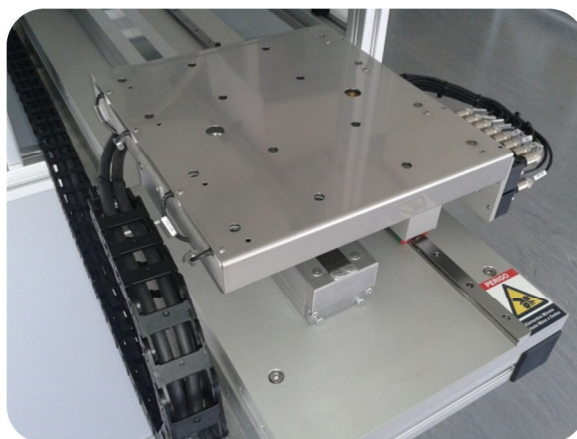


Figura 99 - Chapa de proteção dos sensores [foto da máquina]

9. Reflexão Crítica – Conclusão

A primeira parte desta dissertação foi dedicada ao projeto e aos fatores que o condicionam, tendo-se aprofundado o seu enquadramento, com o desenrolar do texto, ao projeto em engenharia.

A metodologia apresentada por Asimov fornece um guia, ou algoritmo, bastante abrangente mas não limita a sua personalização por quem o pretenda aplicar. Como tal, cada equipa de projeto aborda o projeto da forma que melhor se adapta às necessidades e situação presente da entidade em que se insere. Nenhuma metodologia de projeto deve ser tida como universal, mas cada processo do projeto deve estar bem definido, de modo a que não existam ambiguidades na sua interpretação. Deve-se ter consciência da influência de um bom projeto preliminar nos custos globais do projeto, da gestão de tempo e fundamentalmente da comunicação entre os elementos constituintes da equipa.

A metodologia de projeto de nada vale se não existir também um vasto conjunto de domínios de conhecimentos relativos ao projeto para a manufatura e montagem que imperativamente devem estar devidamente estudados e assimilados. Estes conhecimentos permitem à equipa de projeto optar por soluções mais eficazes e eficientes no que toca à seleção de componentes ou ao seu formato.

Deve-se também ter conhecimento da Diretiva Máquina, o conhecimento desta matéria é imprescindível. Os dispostos presentes na Diretiva pretendem confiar à equipa de projeto um conjunto de ferramentas que permitam identificar e avaliar todas as zonas de perigo da máquina e com base nessa avaliação tomar as devidas providências para eliminar ou reduzir o risco e, nas situações em que não seja possível eliminar por completo o risco, selecionar e aplicar sistemas de proteção e, se necessário, informar sobre os riscos remanescentes, e assegurar que as medidas aplicadas estão a cumprir a sua função.

A segunda parte, dedicada ao projeto de um equipamento, como exemplo de aplicação dos assuntos abordados na primeira parte, revelou-se um desafio aliciante. As críticas referentes a esta parte foram já apresentadas no ponto 8.10.

Relativamente ao processo de projeto propriamente dito, a diversidade de clientes e a natureza dos seus requisitos não permite implementar na empresa um processo de projeto mecânico que seja de aplicação geral. Cada projeto é um novo desafio (também porque a ITEC não fabrica em série) muitas vezes completamente diferente do anterior, o que obriga a equipa a dotar-se de uma

grande flexibilidade. Como tal, a equipa de projeto procura trabalhar de forma criteriosa, mas ao mesmo tempo flexível o que passa por definir concretamente as metas e os requisitos de cada novo projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. J. Smith, Engineering Project Management, Second Edition, Berlim, Alemanha: Blackwell Publishing, 2002.
- [2] Guia PMBOK, Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projectos, Terceira Edição, Pensylvania, EUA: PMI Publications, 2004.
- [3] E. G. Schmidt e L. C. Dieter, Engineering Design, Fourth Edition, New York, EUA: McGraw-Hill, 2009.
- [4] N. Back, A. Ogliari, A. Dias e J. C. Silva, Projeto Integrado de Produtos, Planeamento, concepção e Modelagem, São Paulo, Brasil: Manole, 2008.
- [5] L. N. Romano, Princípios para a Implementação da Engenharia Simultânea, Florianópolis, Brasil, 2000.
- [6] J. Woodark, Computing Shape, EUA: Butterworths Press, 1986.
- [7] G. Boothroy, P. Dewhurst e W. Knight, Product Design for Manufacture and Assembly, Rhode Island, EUA: Marcel Dekker, 1999.
- [8] D. G. Ullman, The Mechanical Design Process, Oregon, EUA: McGraw-Hill, 1992.
- [9] Jornal Oficial da União Europeia, “Directiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio,” 2006.
- [10] Sick - Sensor Intelligence, Guidelines -Safe Machinery, Six steps to a safe machine, 2008.
- [11] Ministério da Economia e da Inovação, “Decreto-Lei n.º 103/2008 de 24 de Junho,” 2008.
- [12] Bosch Rexroth Group, Os Elementos básicos de mecânica, versão 12.1, Alemanha.
- [13] IAI - Robo Cylinder, IK Series Catalog, Alemanha.
- [14] IFM Electronic, “IFM,” [Online]. Available: <http://www.ifm.com/ifmpt/web/home.htm>. [Acedido em 12 Maio 2012].
- [15] IAI, Robo Cylinder - General Catalogue 3rd. Revised Edition, Alemanha.

ANEXOS

1. Anexo A – Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio de 2006.
2. Anexo B – Decreto -Lei n.º 320/2001 de 12 de Dezembro.
3. Anexo C – Modelo de legenda para desenho técnico adotado na ITEC.

**Anexo A – Diretiva 2006/42/CE do
Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de
Maio de 2006**

Anexo B – Decreto -Lei n.º 320/2001 de 12 de Dezembro

Anexo C – Modelo de legenda para desenho técnico adotado na ITEC